تاريخ موجز للزمان

من الانفجار الكبير حتى الثقوب السوداء

Stephen Hawking

Une brève histoire du temps du Big Bang aux trous noirs



http://www.yassar.freesurf.fr

yassarweb@gmail.com

تاريخ موجز للزمان

لوحة الغلاف

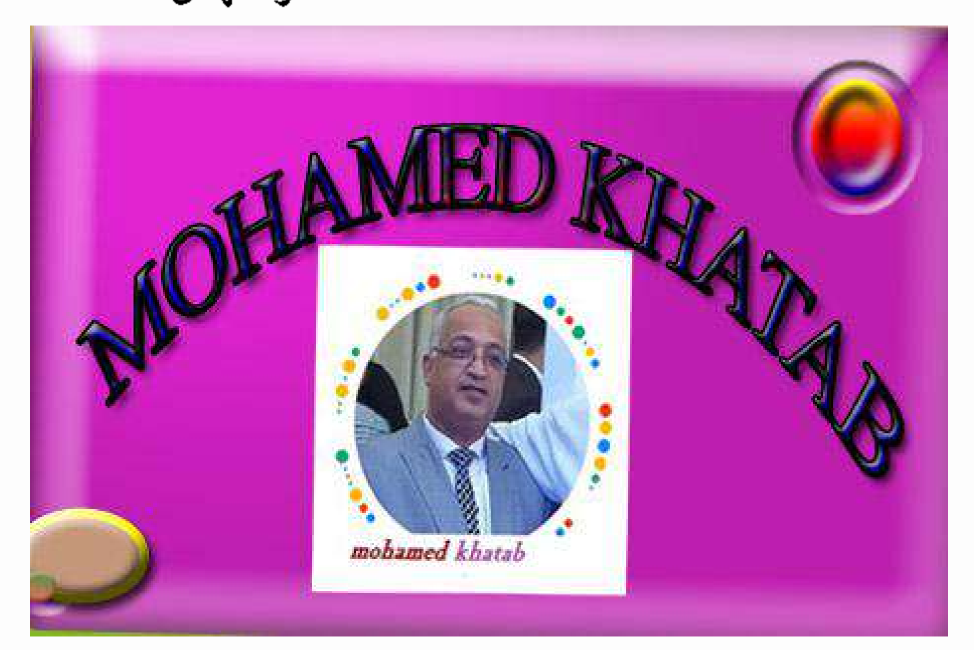
اسم العمل الفنى: **الزمان**

التقنية: **فوتغرافيا وكولاج**

المقاس: **١٥ × ٢٢ سم**

تعتمد لوحة الغلاف على التصوير الفوتغرافى بشكل رئيسى، فالساعة تحتل المنطقة الأمامية من اللوحة، ومن خلفها يبزغ الضوء الأزرق فى تشكيل فنى يعلوه اللون الأسود ليزيد من بهائه، وفى مكان مينا الساعة نرى العديد من صور الانفجارات، وكذا فى أعلى اللوحة، ويحمل كل انفجار ألوان مختلفة عما حوله، وكأنما يشير إلينا بتغير الأزمنة وتعاقبها ودورانها المتلاحق.

محمود الهندى



عن الكتاب

كتاب «تاريخ موجز للزمان» هو بمثابة رحلة لملاح بارع يجوب آفاقا عجيبة في علم الكون والفيزياء، مستندا إلى موهبة علمية فذة وسعة أفق خلاقة، بحثا عن الطريق إلى نظرية علمية كبرى توحد سائر النظريات.

ومن الشيق أن المؤلف ستفين هوكنج رجل معوق ألزمه مرض أعصابه وعضلاته كرسيه ذا العجلات طيلة العشرين سنة الأخيرة من عمره الذي بلغ التاسعة والأربعين وهو لا يستطيع حتى أن يمسك بالقلم ليكتب، بل ولا يستطيع أن ينطق الكلام بوضوح. ومع ذلك فهو يعد أبرز المنظرين في الفيزياء منذ إينشتين، ويشغل الآن كرسي أستاذ الرياضيات نفسه الذي كان يشغله اسحق نيوتن في كمبردج. وله بحوث علمية رائعة معروفة، أشهرها ما تناول فيه الثقوب السوداء في الفضاء.

وكتابه هذا أول كتاب يؤلفه لغير المتخصصين، وقد أثار ضجة كبرى في الأوساط الثقافية والعلمية. ويتناول فيه الزمان والكون وطبيعتهما. وأي تناول كهذا لا بد وأن يؤدي إلى الحديث عن الحركة والفضاء والنجوم والكواكب والمجرات. ويستعرض الكتاب بأبسط أسلوب ممكن مسيرة النظريات الكبرى عن الزمان والكون ابتداءا من أرسطو فجاليليو ونيوتن وإينشتين. ثم يغوص المؤلف بفكرة في أعماق الفضاء في مغامرة فذة، مهتديا بالعلم مع الخيال النشط الخلاق، في محاولة لإيجاد خطوط نظرية جديدة توحد أهم نظريات القرن العشرين بلا تناقض، وخاصة نظريتي النسبية وميكانيكا الكم. ونظرية موحدة كهذه قد يكون فيها الإجابة عن أسئلة طالما حيرت العلماء وما زالت تحيرهم. فهل يمكن أن ينكمش الكون مثلا بدلا من أن يتمدد؟ وهل يرتد الزمان وقتها وراءا فيرى البشر موتهم قبل ميلادهم؟ وهل للكون بداية و / أو نهاية، وكيف تكونتا؟ وهل للكون حدود؟ إن إينشتين قد جعل للمكان – الزمان أربعة أبعاد، فماذا لو كان للكون أبعاد أكثر، كأن يكون له مثلا أحد عشر بعدا أو أكثر؟

وهذه بعض المسائل التي تناولها الكتاب بأسلوب جلي مبسط ومثير بما يشد القارئ طول الوقت، وبما جعل النقاد العلميين يصنفونه بأنه كتاب كلاسيكي منذ ظهوره، فهو من علامات الطريق في فلسفة ومنهج العلم بحيث لا غنى لمثقف من الإطلاع عليه.

المترجم

د. مصطفى فهمي

شكر

قررت محاولة تأليف كتاب شعبى عن المكان والزمان بعد أن ألقيت محاضرات ليب Loeb فى هارفارد عام ١٩٨٢. وقبل ذلك كان ثمة عدد له قدره من الكتب عن الكون فى عهده المبكر وعن الثقوب السوداء، وهى كتب تتراوح بين الجيد جدا مثل كتاب ستيفن وينبرج (الدقائق الثلاث الأولى)، والسيئ جدا الذى لن أحدده. على أنى شعرت أن أيا منها لم يكن يخاطب حقا الأسئلة التى أدت بى إلى القيام بالبحث فى علم الكونيات ونظرية الكم : من أين أتى الكون؟ كيف ولماذا بدأ ؟ هل سيصل إلى نهاية، وإذا كان الأمر كذلك، فكيف ستكون النهاية؟ وهذه الأسئلة تثير اهتمامنا جميعا. إلا أن العلم الحديث قد بلغ درجة من التقنية بحيث لا يستطيع إلا عدد صغير جدا من المتخصصين التمكن من الرياضيات المستخدمة فى وصفها. على أن الأفكار الأساسية عن أصل ومصير الكون يمكن ذكرها دون رياضيات وبشكل يمكن أن يفهمه غير ذوى الدراسة العلمية. وهذا هو ما حاولت القيام به فى هذا الكتاب والقارئ هو الذى ينبغى أن يحكم عما إذا كنت قد أفلحت فى ذلك.

وقد أخبرنى البعض بأن كل معادلة أضمنها فى الكتاب ستقلل المبيعات إلى النصف. ولهذا فقد قررت ألا يكون هناك أى معادلات على الإطلاق. على أنى فى النهاية أدخلت «بالفعل» معادلة واحدة، هى معادلة إينشتين الشهيرة $E = Mc^2$. وأرجو الا يؤدى هذا إلى أن يولى فرقا نصف ما يحتمل من قرائى.

وبصرف النظر عما كفانى من سوء الحظ لإصابتى بضمور العضلات بالتليف الجانبى، أو مرض العصبة الحركية، فإنى لمحظوظ من كل وجه آخر تقريبا. فما تلقيته من عون وسند زوجتى جين وأطفالى روبرت ولوسى وتيمى، قد جعل فى إمكانى أن أعيش حياة طبيعية إلى حد ما وأن أكون ناجحا فى عملى. وقد كنت محظوظا مرة ثانية إذ اخترت الفيزياء النظرية، لأنها كلها تدور فى الذهن. وهكذا فإن عجزى لم يكن فيه معوق خطير. وزملائى العلميون بلا استثناء قد ساعدونى أعظم مساعدة.

وفى الطور الأول، «الكلاسيكى» من حياتى العملية كان الزملاء والشركاء الرئيسيين لى هم روجر بنروز، و روبرت جيروتش، وبراندون كارتر، وجورج إليس. وإنى لممتن لهم لما قدموه لى من عون، ولما قمنا به معا من عمل. وقد تجمعت حصيلة هذا الطور فى مؤلف «بنية المكان – الزمان بالمقياس الكبير» الذى كتبته وإليس فى ١٩٧٣. ولست بمن ينصح قراء هذا الكتاب أن يرجعوا إلى

ذلك المؤلف للمزيد من المعلومات: فهو مؤلف على درجة عالية من التقنية، وغير قابل للقراءة إلى حد كبير. وأرجو أن أكون قد تعلمت منذ ذلك الوقت كيفية الكتابة بأسلوب أسهل فهما.

وفي الطور التالي لعملي «طور الكم» الذي بدأ في عام ١٩٧٤، كان شركائي الرئيسيون هم جاري جيبونز، ودون بيج، وجيم هارتل. وإني أدين لهم بالكثير، كما أدين لطلابي في البحث، الذين منحوني قدرا عظيما من العون، بما لهذه الكلمة من كلا معنييها الجسماني والنظري. ولما كان على أن ألاحق طلابي فإن ذلك كان فيه حافز عظيم، وقد أدى فيما آمل إلى منعي من أن تلازمني رتابة كئيبة.

هذا وقد تلقيت عونا كثيرا في هذا الكتاب من بريان هويت، أحد طلابي. وبعد أن كتبت المسودة الأولى أصابني التهاب رئوي في ١٩٨٥. وكان لابد من أن تجرى لي عملية شق الحنجرة مما أفقدني القدرة على الكلام، وجعل من شبه المستحيل لي أن أتصل بالآخرين. وظننت أني لن أتمكن من إنهاء الكتاب. إلا أن بريان لم يقم فحسب بمساعدتي على مراجعته، وإنما جعلني أيضا استخدم برنامج اتصالات يسمى «المركز الحي» قد منحه لي والت والتز من شركة وردز بلاس، في سنيفيل بكاليفورنيا. وأستطيع بواسطته أن أقوم معا بقراءة الكتب وأوراق البحث، وأن أتحدث للناس مستخدما مخلّق كلمات منحته لي أيضا شركة سبيتش بلاس من سنيفيل بكاليفورنيا. والمخلق هو وكمبيوتر شخصي صغير قد تم تركيبهما على كرسيّ ذي العجلات بواسطة دافيد ماسون. وقد كان في هذا النظام كل الفارق.: والحقيقة أني أتصل الآن بالاخرين على نحو أفضل مما كنت أفعله قبل أن أفقد صوتي.

وقد وصلتني اقتراحات عن طريقة تحسين هذا الكتاب من عدد كبير من الأفراد الذين رأوا النسخ الأولية. وقد أرسل لي بالذات بيتر جوزّاردي، المحرر في دار نشر كتب بانتام، صفحات وصفحات من التعليقات والاستفهامات عن نقاط شعر هو أني لم أفسرها بما يلائم. ويجب أن أقر بأني أصبت بشئ من الضيق عند تلقي قائمته الهائلة عن الأمور التي ينبغي تغييرها، على أنه كان على حق تماما. وإني لعلى يقين من أن الكتاب أصبح أفضل كنتيجة أنه وضع أنفي في الرغام.

كما أني ممتن جدا لمساعدتي كولن وليامز، ودافيد توماس، وريموند لافلام؛ ولسكرتيراتي جودي فيلا، وآن رالف، وتشيريل بلنجتون، وسوماسي؛ ولفريق ممرضاتي. وما كان سيمكن إنجاز أي شئ من هذا دون الدعم المقدم لبحثي ولنفقاتي العلاجية الذي أمدتني به كلية جونفيل وكايوس، ومجلس البحوث العلمية والهندسية، ومؤسسات ليفرهولم، ومكارثر، ونوفيلد، ورالف سميث. وإني لجد ممتن لهم.

ستيفـن هوكنـج
٢٠ أكتوبر ١٩٨٧

مقدمة

إننا نمضى فى حياتنا اليومية ونحن لا نكاد نفهم شيئا عن العالم. فنحن لا نفكر إلا قليلا فى آليات النظام الذى يولد ضوء الشمس الذى يجعل الحياة ممكنة، أو فى الجاذبية التى تلصقنا بأرض هى لولا ذلك كانت سترسلنا لندور ملتفين فى الفضاء، أو فى الذرات التى صنعنا منها ونعتمد اعتمادا أساسيا على استقرارها. وباستثناء الأطفال (الذين لا يعرفون ما يكفى لمنعهم من أن يسألوا الأسئلة المهمة)، فإن عددا قليلا منّا هم، الذين ينفقون وقتا كثيرا فى تساؤل عن السبب فى أن الطبيعة هى ما هى عليه، ومن أين أتى الكون، أو هل كان دائما هنا؛ وهل يأتى وقت ينساب فيه الزمان وراءا وتسبق النتائج الأسباب؛ أو هل ثمة حدود قصوى لما يستطيع البشر أن يعرفوه. بل إن هناك أطفال، قد قابلت بعضا منهم، يريدون معرفة كيف يبدو الثقب الأسود؛ وما هو أصغر جزء من المادة؛ ولماذا نتذكر الماضى وليس المستقبل؛ وإذا كانت هناك فوضى فى أول الأمر، فكيف حدث أن هناك الآن نظاما فيما يظهر؛ ولماذا «يوجد» الكون.

وما زال الآباء والمدرسون فى مجتمعنا متعودين على الإجابة عن معظم هذه الأسئلة بهزة كتف، أو باستدعاء مفاهيم مطلقة غامضة، والبعض يصيبهم القلق من جراء قضايا كهذه، لأنها تكشف بصورة جد حيوية عن أوجه قصور الفهم البشرى.

على أن الشئ الكثير من الفلسفة والعلم قد دفعته تساؤلات من هذا النوع. وثمة عدد متزايد من البالغين لهم رغبة فى إلقاء أسئلة من هذا النوع، وهم أحيانا يتلقون بعض إجابات تثير الدهشة. ومع تساوى مسافة البعد بيننا وبين الذرات، وبيننا وبين النجوم، فإننا نوسع من آفاق استكشافاتنا لتحتضن معا ما هو صغير جدا وما هو كبير جدا.

وفى ربيع ١٩٧٤، بما يسبق بحوالى عامين هبوط مركبة الفضاء الفيكنج على المريخ، كنت أحضر فى انجلترا اجتماعا تحت رعاية الجمعية الملكية بلندن، لنرتاد مسألة طريفة هى البحث عن الحياة خارج الأرض. وأثناء فترة راحة لشرب القهوة لاحظت أن اجتماعا أكبر كثيرا كان يعقد فى

قاعة مجاورة، فدخلتها من باب حب الاستطلاع. وسرعان ما تبينت أني كنت أشهد طقسا عتيقا، حفل تنصيب الزملاء الجدد في الجمعية الملكية، أحد أقدم المنظمات العلمية على كوكبنا. وكان في الصف الأمامي شاب في كرسي ذي عجلات يوقع اسمه ببطء شديد في كتاب يحمل في صفحاته الأولى توقيع اسحق نيوتن. وعندما انتهى في آخر الأمر، ارتج المكان بالتحية له. فقد كان ستيفن هوكنج أسطورة حتى في ذلك الوقت.

وهوكنج الآن أستاذ كرسي لوكاس للرياضيات في جامعة كمبردج، وهو منصب كان يشغله نيوتن ذات مرة، وشغله فيما بعد ب. ا. م. ديراك، وهما رائدان مشهوران لما هو كبير جدا وما هو صغير جدا. وهوكنج هو خليفتهما الجدير بذلك. وهذا الكتاب، وهو أول كتب هوكنج لغير المتخصصين، فيه أنواع كثيرة من الفائدة للقارئ غير المتخصص. وكما أن الكتاب شيق بمحتوياته ذات المدى الواسع، فهو شيق بنفس القدر بما يمدنا به من لمحة عن طريقة عمل عقل المؤلف. وفي هذا الكتاب إشراقات صافية في مجالات الفيزياء، والفلك، والكونيات، والشجاعة.

كارل ساجان

جامعة كورنيل
ايتاكا ـ نيويورك

١

صورتنا عن الكون

ذات مرة ألقى عالم مشهور (يقول البعض أنه برتراند راسل) محاضرة عامة عن علم الفلك. ووصف كيف أن الأرض تدور حول الشمس، وكيف تدور الشمس بدورها حول مركز لمجموعة هائلة من النجوم تسمى مجرتنا. وفي نهاية المحاضرة، نهضت سيدة عجوز ضئيلة في آخر القاعة وقالت: «إن ما تقوله لنا هراء. فالعالم في الحقيقة صفحة مسطحة مستقرة على ظهر سلحفاة ماردة». وابتسم العالم في تعال قبل أن يجيب: «وما الذي تقف عليه السلحفاة؟» فقالت السيدة العجوز: «إنك لبارع جدا أيها الشاب، بارع جدا. على أن الأمر كله سلاحف بطول الطريق لأسفل!».

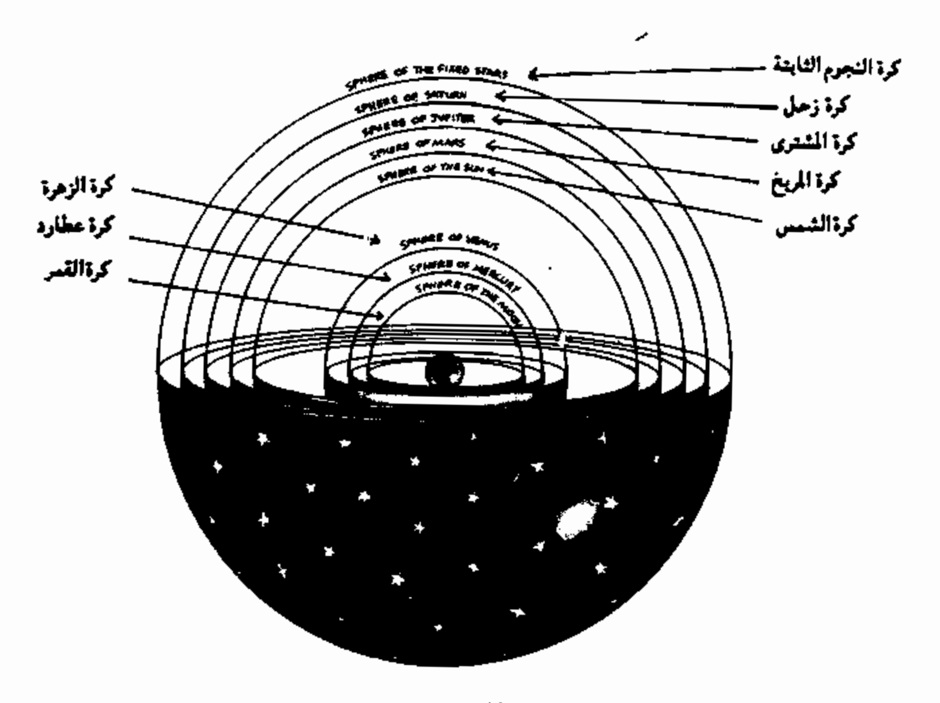
وسيجد معظم الناس أن صورة كوننا كبرج لا نهائي من السلاحف لهي مضحكة نوعا، ولكن لماذا نعتقد أن ما نعرفه هو أفضل ؟ ما الذي نعرفه عن الكون، وكيف نعرفه؟ من أين أتى الكون، وإلى أين يذهب؟ هل للكون بداية، وإذا كان له، فما الذي حدث «قبله ذلك؟ ما هي طبيعة الزمان؟ هل سيصل قط إلى نهاية؟ إن الإنجازات الحديثة في الفيزياء، والتي أصبحت ممكنة في جزء منها بواسطة تقنيات جديدة خيالية، تفترض إجابات عن بعض هذه الأسئلة التي ظلت قائمة زمنا طويلا.

ولعل هذه الإجابات ستبدو في يوم ما واضحة لنا وضوح دوران الأرض حول الشمس أو ربما ستبدو مضحكة مثل برج السلاحف. والزمن وحده (أيا ما يكون ذلك) هو الذي سيخبرنا بالقول الفصل.

ومنذ زمن بعيد يرجع إلى ٣٤٠ ق. م. أمكن للفيلسوف الإغريقي أرسطو أن يطرح في كتابه «عن السماوات» حجتين قويتين للاعتقاد بأن الأرض كرة مستديرة بأولى من أن تكون صفحة مسطحة. فأولا، فإنه قد لاحظ أن حالات خسوف القمر يسببها وقوع الأرض بين الشمس والقمر. وظل الأرض على القمر يكون دائما مستديرا، وهذا لا يصح إلا إذا كانت الأرض كروية. ولو كانت الأرض قرصا مسطحا، لكان ظلها مطولا وإهليلجيا، إلا إذا كان الخسوف يحدث دائماً في

وقت تكون الشمس فيه تحت مركز القرص مباشرة. وثانيا، فإن الإغريق عرفوا من رحلاتهم أن النجم الشمالى يبدو عندالنظر إليه فى الجنوب أكثر انخفاضا فى السماء عما يبدو فى المناطق الشمالية بأكثر. (حيث أن النجم الشمالى يقع فوق القطب الشمالى، فإنه يبدو فوق الراصد مباشرة عند القطب الشمالى، ولكنه يبدو لمن يرقبه من خط الاستواء وكأنه يقع عند الأفق بالضبط). بل إن أرسطو عن طريق اختلاف الوضع الظاهرى للنجم الشمالى فى مصر واليونان ذكر تقديرا لطول محيط الأرض هو ٤٠٠,٠٠٠ أستاد. وليس من المعروف بالضبط كم كان يبلغ طول الاستاد، ولكنه قد يكون ما يقرب من ٢٠٠ ياردة، مما يجعل تقدير أرسطو حوالى ضعف الرقم المتفق عليه حاليا. بل إن الإغريق كانت لهم حجة ثالثة عن وجوب كروية الأرض، وإلا فما هو السبب فى أن المرء يرى أولا أشرعة السفينة آتية عبر الأفق، ولا يرى جسم السفينة إلا بعد ذلك؟

وكان أرسطو يعتقد أن الأرض ثابتة وأن الشمس والقمر والكواكب والنجوم تتحرك فى أفلاك دائرية حول الأرض. وكان يؤمن بذلك لأنه أحس لأسباب خفية أن الأرض مركز الكون، وأن الحركة الدائرية هى الكمال الأقصى. وقد طور بطليموس هذه الفكرة فى القرن الثانى بعد الميلاد لتصبح نموذجا كاملا. فالأرض تقف فى المركز، تحيط بها ثمانى كرات تحمل القمر والشمس والنجوم



شكل ١,١

والكواكب الخمسة المعروفة وقتها، عطارد والزهرة، والمريخ، والمشترى وزحل (شكل ١،١). والكواكب نفسها تتحرك على دوائر أصغر متصلة بالكرات المختصة بكل، وذلك حتى يمكن تفسير ما يرصد في السماء من مساراتها المعقدة نوعا. والكرة التي لأقصى الخارج تحمل ما يسمى بالنجوم الثابتة، التي تبقى دائما في نفس المواضع أحدها بالنسبة للآخر ولكنها تدور معا عبر السماء. أما ما يقع خارج الدائرة الأخيرة فلم يُجعل قط واضحا جدا، على أن من المؤكد أنه لم يكن جزءا من الكون الذي يمكن للبشر رصده.

وقد أمد نموذج بطليموس بنسق مضبوط إلى حد معقول للتنبؤ بمواقع الأجرام السماوية في السماء. على أنه حتى يمكن التنبؤ بهذه المواقع على نحو صحيح، كان على بطليموس أن يقوم بافتراض أن القمر يتبع مسارا يأتي به أحيانا على مسافة من الأرض أقرب مرتين مما في أحيان أخرى. ويعنى هذا أن القمر ينبغي أن يظهر أحيانا أكبر مرتين مما في الأحيان الأخرى! وقد تبين بطليموس هذا الخلل، إلا أن نموذجه كان رغم ذلك مقبولا على نحو عام وإن لم يكن ذلك بصورة كلية. وقد اتخذته الكنيسة المسيحية كصورة للكون تتفق مع الكتاب المقدس، لأن فيها ميزة كبرى حيث أنها تترك خارج كرة النجوم الثابتة متسعا وافرا للجنة والجحيم.

على أنه قد طرح في ١٥١٤ نموذج أبسط بواسطة قس بولندى، هو نيكولاس كوبرنيكوس. (نشر كوبرنيكوس نموذجه في أول الأمر دون توقيع وربما كان ذلك خوفا من أن تتهمه الكنيسة بالهرطقة). وكانت فكرته أن الشمس ثابتة في المركز بينما تتحرك الأرض والكواكب في أفلاك دائرية حول الشمس. وقد مر ما يقرب من قرن قبل أن تؤخذ هذه الفكرة مأخذا جديا. وبعدها أخذ عالمان فلكيان – هما الألماني جوهانز كبلر، والإيطالي جاليليو جاليلى – في تأييد النظرية الكوبرنيكية علنا، رغم حقيقة أن الأفلاك التي تنبأت بها لم تكن تتفق تماما والأفلاك المرصودة. ثم أتت الضربة المميتة للنظرية الأرسطية / البطلمية في ١٦٠٩. ففي هذه السنة بدأ جاليليو يرصد السماء ليلا بتليسكوب تم اختراعه توها. وعندما نظر جاليليو إلى كوكب المشترى، وجد أنه مصحوب بتوابع صغيرة عديدة أو أقمار تدور من حوله. وكان هذا يدل على أنه «ليس» ينبغي أن يدور كل شئ مباشرة حول الأرض كما كان يعتقد أرسطو وبطليموس. (وبالطبع كان ما زال ممكنا وقتها الاعتقاد بأن الأرض ثابتة في مركز الكون وأن أقمار المشترى تتحرك في مسارات بالغة التعقيد حول الأرض بحيث تعطى «المظهر» بأنها تدور حول المشترى. على أن نظرية كوبرنيكوس كانت أبسط كثيرا). وفي نفس الوقت، عدل جوهانز كبلر من نظرية كوبرنيكوس، مقترحا أن الكواكب تتحرك، لا في دوائر وإنما في شكل اهليلجى (الشكل الاهليلجى دائرة مطولة). والآن فإن التنبؤات أصبحت في النهاية متفقة مع المشاهدات.

وفيما يختص بكبلر فإن المدارات الاهليلجية كانت مجرد فرض لغرض معين، وهو فرض يكاد يكون منفرا وقتها، لأن من الواضح أن المدارات الاهليلجية أقل كمالا من الدوائر. ولكنه وقد اكتشف بما يكاد يكون صدفة أن المدارات الاهليلجية تتلاءم جيدا مع المشاهدات، فإنه لم يستطع أن يوفق بينها وبين فكرته من أن الكواكب قد جُعلت تدور حول الشمس بواسطة القوى المغناطيسية. ولم يقدَّم التفسير إلا بعد ذلك بكثير في ١٦٨٧، عندما نشر السيراسحق نيوتن «المبادئ الرياضية للفلسفة الطبيعية»، ولعله أهم مؤلف واحد قد نُشر قط في العلوم الفيزيائية. ونيوتن في هذا الكتاب لا يطرح وحسب نظرية عن كيفية تحرك الأجسام في المكان والزمان، ولكنه أيضا قد أنشأ الرياضيات المعقدة اللازمة لتحليل هذه التحركات. وبالإضافة، فإن نيوتن قد وضع قانونا للجاذبية الكونية، وحسب هذا القانون فإن كل جسم في الكون ينجذب لأي جسم آخر بقوة تزيد شدتها كلما زادت كتلة الأجسام وكلما زادت قربا أحدها من الآخر. وهذه القوة هي التي تسبب سقوط الأشياء للأرض. (وقصة أن نيوتن قد ألهمه سقوط تفاحة على رأسه هي في الغالب المؤكد مشكوك في صحتها. وكل ما حدث أن قاله نيوتن نفسه، هو أن فكرة الجاذبية واتته وهو جالس «في حالة تأمل» وقد صادفها سقوط تفاحة»). واستمر نيوتن ليبين أنه حسب قانونه، فإن الجاذبية تسبب حركة القمر حول الأرض في مدار اهليلجي، وتسبب أن الأرض والكواكب تتبع مسارات اهليلجية حول الشمس.

لقد تخلص نموذج كوبرنيكوس من كرات بطليموس السماوية، وتخلص معها من فكرة أن الكون له حد طبيعي. ولما كانت «النجوم الثابتة» لا تظهر تغيرا في مواقعها عدا بعض دوران عبر السماء نتيجة أن الأرض تلف حول محورها، فقد كان من الطبيعي افتراض أن النجوم الثابتة هي أشياء مثل شمسنا ولكنها أبعد منها كثيرا.

وقد تبين نيوتن، حسب نظريته عن الجاذبية، أن النجوم ينبغي أن يجذب أحدها الآخر، وهكذا يبدو أنها لا تستطيع أن تبقى أساسا بلا حركة. ألن يحدث لها أن تهوى كلها معا عند نقطة معينة؟ وفي خطاب أرسله نيوتن ١٦٩١ إلى رتشارد بنتلي، وهو مفكر آخر من المبرزين في زمانه، حاجّ نيوتن بأن هذا الأمر كان سيحدث حقا لو أن هناك فحسب عددا متناهيا من النجوم موزعا على منطقة متناهية من المكان ولكنه من الناحية الأخرى يحاج بأنه لو كان هناك عدد لا متناه من النجوم، موزع بما يكاد يكون توزيعا متسقا على مكان لا متناه، فإن هذا الأمر لن يحدث، لأنه لن تكون لدى النجوم أي نقطة مركزية تهوى إليها.

وهذه الحجة هي مثل للعثرات التي يمكن أن تلاقيها عند الحديث عن اللا نهاية. ففي كون لا متناه، يمكن النظر لكل نقطة على أنها المركز، لأن كل نقطة سيكون على كل جانب منها عدد

لامتناهٍ من النجوم. والتناول الصحيح الذى لم يتم تبينه إلا بعد ذلك بكثير، هو النظر إلى الموقف المتناهى، حيث النجوم كلها تهوى للداخل أحدها فوق الآخر، ثم نسأل كيف تتغير الأمور لو أضاف المرء نجوما أكثر تتوزع خارج هذه المنطقة توزيعا متسقا على وجه التقريب. وحسب قانون نيوتن، فإن النجوم الإضافية لن تسبب مطلقا أى اختلاف فى الأمر بالنسبة للنجوم الأصلية فى المتوسط، وهكذا فإن النجوم ستهوى للداخل بالسرعة نفسها. وفى وسعنا أن نضيف من النجوم أى قدر نشاء، ولكنها ستظل دائما تتهاوى للداخل فوق بعضها. ونحن الآن نعلم أن من المستحيل أن يكون لدينا نموذج استاتيكى لا متناهى للكون تكون الجاذبية فيه دائما فى جذب.

إنه لانعكاس شيق للمناخ العام للفكر قبل القرن العشرين أن أحدا لم يقترح أن الكون يتمدد أو ينكمش. فقد كان المقبول عامة هو أن الكون قد وجد دائما فى حال لا يتغير، أو أنه قد نشأ فى وقت متناه فى الماضى وهو على مثل ما نلاحظه الآن بدرجة أو أخرى. ولعل هذا يرجع فى جزء منه إلى نزعة الناس إلى الاعتقاد فى حقائق أبدية، كما قد يرجع إلى ما يلقونه من راحة فى الاعتقاد بأنه رغم أنهم قد يزيد بهم السن ويموتون، إلا أن الكون أبدى لا يتغير.

وحتى أولئك الذين تبينوا أن نظرية نيوتن عن الجاذبية توضح أن الكون لا يمكن أن يكون استاتيكيا، حتى هؤلاء لم يفكروا فى افتراض أن الكون قد يكون متمددا. وبدلا من ذلك فقد حاولوا تعديل النظرية بجعل قوة التجاذب تصبح قوة تنافرية على المسافات الكبيرة جدا. ولم يكن لذلك تأثير ذى دلالة على تنبؤاتهم بتحركات الكواكب، ولكنه سمح لتوزيع لا متناهى للنجوم بأن يبقى فى حالة توازن – حيث قوى الجذب بين النجوم القريبة تتوازن بقوى التنافر من تلك النجوم الأكثر بعدا. على أننا نعتقد الآن أن توازنا كهذا سيكون غير مستقر: فلو أن النجوم فى منطقة ما أصبحت فقط أقرب هونا بعضها لبعض، فإن قوى التجاذب فيما بينها تصبح أقوى وتتغلب على قوى التنافر بحيث تستمر النجوم فى السقوط أحدها نحو الآخر. ومن الناحية الأخرى، فلو أن النجوم تباعدت قليلا أحدها عن الآخر، فإن قوى التنافر سوف تتغلب وتدفعها إلى مزيد من التباعد.

وثمة اعتراض آخر على الكون الاستاتيكى اللامتناهى يُنسب عادة إلى الفيلسوف الألمانى هنريخ أولبرز، الذى كتب عن هذه النظرية فى ١٨٢٣. والحقيقة أن معاصرين شتى لنيوتن قد أثاروا المشكلة، ولم تكن مقالة أولبرز حتى هى أول مقالة تحوى حججا معقولة ضدها. على أنها كانت المقالة الأولى التى لوحظت على نطاق واسع. ووجه الصعوبة هو أنه فى الكون الاستاتيكى اللامتناهى سينتهى تقريبا كل خط للإبصار على سطح أحد النجوم. وهكذا فإن المرء ليتوقع أن السماء كلها ستكون ساطعة كالشمس، حتى فى الليل. وما يضاد حجة أولبرز هو أن الضوء من

النجوم البعيدة سيتم تعتيمه بالامتصاص بواسطة المادة التي تعترضه. على أنه لو حدث ذلك فإن هذه المادة المعترضة ستزداد سخونة في النهاية حتى تتوهج ساطعة مثل النجوم والطريقة الوحيدة لتجنب استنتاج أن سماء الليل كلها ينبغي أن تكون ساطعة مثل سطح الشمس هي افتراض أن النجوم لم تكن تسطع دائما، ولكنها قد بدأت عند زمن متناه في الماضي. وفي هذه الحالة فإن المادة الماصة ربما تكون لم تسخن بعد أو قد يكون الضوء من النجوم البعيدة لم يصل إلينا بعد. وهذا يأتي بنا إلى السؤال عما قد يكون السبب في أن النجوم قد بدأت في المكان الأول.

وبالطبع فإن بداية الكون قد نوقش أمرها قبل ذلك بزمن طويل. وحسب عدد من الكونيات المبكرة، وحسب التراث اليهودي / المسيحي، فإن الكون قد بدأ عند زمن متناه في الماضي وليس بعيدا جدا. وأحد حجج مثل هذه البداية هي الشعور بأن من الضروري أن تكون هناك «علة أولى» لتفسير وجود الكون. (إنك دائما تفسر أحد الأحداث داخل الكون بأنه قد نتج عن حدث أقدم، ولكن وجود الكون نفسه يمكن فقط تفسيره بهذه الطريقة إذا كانت له بداية ما). وثمة حجة أخرى طرحها القديس أوغسطين في كتابه «مدينة الله». وهو يبين أن المدنية في حالة تقدم وأننا نتذكر من أدى هذا الصنيع أو أنشأ ذاك التكنيك. وهكذا فإن الإنسان، وربما أيضا الكون، لا يمكن أن يكون قد وجد لزمن جد طويل. ويتقبل القديس أوغسطين تاريخا لبدء الكون حسب سفر التكوين منذ ما يقرب من سنة ٥٠٠٠ ق. م. (من الشيق أن هذا ليس بعيدا عن نهاية آخر عصر جليدي، حوالي سنة ١٠,٠٠٠ ق. م.، وهو الوقت الذي يخبرنا علماء الآثار بأن المدنية بدأت حقا عنده).

ومن الناحية الأخرى، فإن أرسطو. ومعظم الفلاسفة الإغريق كانوا يؤمنون بأن الجنس البشري والعالم من حوله قد وجدا وسوف يبقيان دائما. وقد نظر القدماء بالفعل في محاجة التقدم التي وصفت أعلاه، وأجابوا عليها بقولهم أنه كان ثمة دورات من فيضانات أو كوارث أخرى كانت تنتكس مرارا بالجنس البشري ليعود إلى بدء المدنية تماما.

ومسألة إذا ما كان الكون له بداية في الزمان وإذا ما كان محدودا في المكان قد تفحصها بعد ذلك وبصورة شاملة الفيلسوف إيمانويل كانت في مؤلفه البارز (والغامض جدا) «نقد العقل الخالص»، الذي نشر في ١٧٨١. وقد سمى هذه المسائل نقائض (أي تناقضات) العقل الخالص لأنه شعر أن ثمة حججا تتساوى قوة للإيمان بدعوى أن الكون له بداية، وللإيمان بالدعوى النقيضة من أن الكون قد وجد دائما. وحجته للدعوى هي أنه لو كان الكون بلا بداية، فسيكون هناك فترة زمان لانهائية قبل أي حدث، مما اعتبره منافيا للعقل. وحجته للدعوى النقيضة هي أنه لو كان للكون بداية، فإنه ستكون هناك فترة زمان لانهائية قبله، وإذن فلماذا ينبغي أن يبدأ الكون عند أي لحظة واحدة معينة؟ والحقيقة أن قضيتيه لكل من الدعوى ونقيضها هما في الواقع نفس المحاجة.

فكلاهما تأسس على افتراض لم ينطق به، بأن الزمان يستمر وراء للأزل سواء كان الكون قد وجد أو لم يوجد دائما. وكما سوف نرى فإن مفهوم الزمان لا معنى له قبل بدء الكون. وقد وضح القديس أوغسطين هذا لأول مرة. فعندما سُئل: ماذا كان الله يفعل قبل خلق الكون؟ لم يجب أوغسطين بأنه: كان يعد الجحيم لمن يسألون أسئلة كهذه. وبدلا من ذلك قال إن الزمان هو خاصة للكون الذى خلقه الله، وإن الزمان لم يكن يوجد قبل بدء الكون.

وعندما كان معظم الناس يؤمنون بكون هو فى جوهره استاتيكى وغير متغير، فإن مسألة إذا كان أو لم تكن له بداية كانت فى الواقع مسألة ميتافيزيقية أو لاهوتية. وكان يمكن للمرء تفسير المشاهدات تفسيرا يتساوى جودة سواء على أساس نظرية «أن الكون قد وجد دائما أو نظرية أنه قد بدأ حركته فى وقت ما متناهٍ على نحو يجعله يبدو كأنه قد وجد دائما. إلا أن إدوين هابل أجرى فى ١٩٢٩ مشاهده تعد علامة طريق هى أنك حيثما وجهت بصرك، تجد المجرات البعيدة تتحرك بسرعة بعيدا عنا. وبكلمات أخرى فإن الكون يتمدد. ويعنى هذا أن الأشياء كانت فى الأوقات السالفة أكثر اقترابا معا. والحقيقة أنه يبدو أنه كان ثمة وقت منذ حوالى عشرة أو عشرين ألف مليون سنة، حيث كانت الأشياء كلها فى نفس المكان بالضبط، وبالتالى فإن كثافة الكون وقتها كانت لامتناهية. وهذا الاكتشاف هو الذى أتى فى النهاية بمسألة بداية الكون إلى دنيا العلم.

وتفترض مشاهدات هابل أنه كان ثمة وقت يسمى الانفجار الكبير big bang، حيث كان الكون صغيرا بما لا نهاية لصغره وكثيفا كثافة لا متناهية. وتحت ظروف كهذه تنهار كل قوانين العلم، وبالتالى تنهار كل قدرة على التنبؤ بالمستقبل. ولو كان ثمة أحداث مبكرة قبل ذلك الوقت، فإنها إذن لا يمكنها أن تؤثر فيما يحدث فى الوقت الحالى. ووجودها هو مما يمكن تجاهله لأنه لن يكون له أى نتائج ذات مشاهدات. ويمكن للمرأ أن يقول إن الزمان له بداية عند الانفجار الكبير، بمعنى أن الأزمنة السابقة عليه هى ببساطة مما لا يمكن أن يعرّف. وينبغى التأكيد على أن بداية الزمان هذه تختلف تماما عن تلك البدايات التى نظرناها فيما سبق. ففى كون غير متغير تكون بداية الزمان شيئا يجب أن يفرض من خارج الكون؛ وليس من ضرورة فيزيائية لبداية ما. ويمكن للمرء أن يتصور أن الكون قد خلق بالمعنى الحرفى فى أى وقت فى الماضى. ومن الناحية الأخرى، فإذا كان الكون يتمدد، فإنه قد تكون ثمة علل فيزيايئية للسبب فى أنه يجب أن تكون ثمة بداية. ولا يزال المرء يستطيع أن يتصور أن الكون قد خلق لحظة الانفجار الكبير، أو حتى بعدها بطريقة هى بالضبط تجعله يبدو كما لو كان ثمة انفجار كبير، ولكن سيكون مما لا معنى له افتراض أن الكون قد خلق «قبل» الانفجار الكبير. والخلق لا يحول دونه تمدد الكون.

وحتى نتحدث عن طبيعة الكون ونناقش أسئلة مثل السؤال عما إذا كان له بداية أو نهاية،

فإنه ينبغي أن يكون واضحا لك ما تكونه النظرية العلمية. وسوف أتخذ وجهة النظر ذات التفكير البسيط وهي أن النظرية هي وحسب نموذج للكون، أو لجزء محدود منه، ومجموعة من القواعد التي تربط الكميات التي في النموذج بالمشاهدات التي نجريها. وهي لا تتواجد إلا في عقولنا وليس لها أي واقع آخر (أيا ما كان ما يعني ذلك).

والنظرية تكون نظرية جيدة إذا كانت تفي بمطلبين اثنين: فهي يجب أن توصف توصيفا مضبوطا طائفة كثيرة من المشاهدات على أساس من نموذج يحوي فحسب عناصر تعسفية معدودة، ويجب أن تصنع تنبؤات محددة عن نتائج المشاهدات في المستقبل. وكمثل فإن نظرية أرسطو من أن كل شئ قد صنع من أربعة عناصر، الأرض، والهواء، والنار، والماء، كانت من البساطة بما يكفي لتأهيلها، ولكنها لم تصنع أي تنبؤات محددة. ومن الناحية الأخرى فإن نظرية نيوتن عن الجاذبية تأسست حتى على نموذج أكثر ببساطة، حيث الأجسام يجذب بعضها الآخر بقوة تتناسب مع كم يسمى كتلتها وتتناسب عكسيا مع مربع المسافة فيما بينها. إلا أنها تتنبأ بتحركات الشمس، والقمر، والكواكب بدرجة عالية من الدقة.

وأي نظرية فيزيائية هي دائما مؤقتة، بمعنى أنها فرض وحسب : فأنت لا تستطيع قط أن تبرهن عليها. ومهما بلغت كثرة مرات اتفاق نتائج التجارب مع نظرية ما، فإنك لا تستطيع قط أن تتيقن من أنه في المرة التالية لن تتناقض النتيجة مع النظرية. ومن الناحية الأخرى فإنك تستطيع تفنيد إحدى النظريات بأن تعثر حتى على مشاهدة واحدة تتعارض وتنبؤات النظرية. وكما أكد فيلسوف العلم كارل بوبر، فإن النظرية الجيدة تتميز بحقيقة أنها تصنع عددا من التنبؤات يمكن من حيث المبدأ تفنيدها أو دحضها بالمشاهدة. وفي كل مرة يشاهد فيها أن تجارب جديدة تتفق مع التنبؤات فإن النظرية تبقى، وتزيد ثقتنا فيها؛ ولكن لو حدث أن وجدت قط مشاهدة جديدة متعارضة، يكون علينا أن ننبذ النظرية أو نعدلها. أو على الأقل فهذه ما يفترض أن يحدث، على أنك تستطيع دائما أن تتشكك في كفاءة الشخص الذي أجرى المشاهدة.

أما في التطبيق فما يحدث غالبا هو أن توضع نظرية جديدة هي في الواقع امتداد للنظرية السابقة. وكمثل فإن المشاهدات الدقيقة جدا للكوكب عطارد كشفت عن اختلاف بسيط بين تحركه وما تنبأت به نظرية نيوتن عن الجاذبية. وقد تنبأت نظرية إينشتين للنسبية العامة بتحرك يختلف اختلافا بسيطا عن نظرية نيوتن. وحقيقة أن تنبؤات إينشتين توافقت مع ما يتم رؤيته، بينما لم تتوافق تنبؤات نيوتن، كانت أحد الإثباتات الحاسمة للنظرية الجديدة. على أننا ما زلنا نستخدم نظرية نيوتن في كل الأغراض العملية لأن الفارق بين تنبؤاتها وتنبؤات النسبية العامة هو فارق صغير جدا في المواقف التي نتناولها عادة. (ونظرية نيوتن أيضا لها ميزتها الكبرى في أن العمل

بها أبسط كثيراً من العمل بنظرية إينشتين!).

والهدف النهائى للعلم هو أن يمد بنظرية وحيدة تصف الكون كله. على أن التناول الذى يتبعه معظم العلماء بالفعل هو فصل المشكلة إلى جزئين. فأولا، هناك القوانين التى تخبرنا بطريقة تغير الكون بالزمان. (إذا عرفنا ما يبدو عليه الكون فى أى وقت معين، تخبرنا هذه القوانين بما سوف يبدو عليه فى أى وقت بعده). وثانيا، فهناك مسألة الحال المبدئى للكون. وبعض الناس يشعرون أن العلم ينبغى أن يختص بالجزء الأول وحسب؛ فهم يعتبرون مسألة الموقف المبدئى من مسائل الميتافيزيقا أو الدين. وسيقولون إن الله يستطيع بقدرته بدء الكون بأى طريقة يشاء. ومع هذا فإن الله أيضا كان يستطيع أن يجعله ينشأ على منوال تعسفى تماما. ولكنه كما يظهر قد اختار أن يجعله يتطور على نحو جد منتظم حسب قوانين معينة. وهكذا فإنه مما يساوى ذلك عقلا افتراض أن هناك أيضا قوانين تحكم الحال المبدئى.

ويثبت فى النهاية أن من الصعب جدا وضع نظرية توصف الكون كله دفعة واحدة. وبدلا من ذلك، فإننا نقسم المشكلة إلى أجزاء ونبتكر عددا من النظريات الجزئية. وكل من هذه النظريات الجزئية يوصف ويتنبأ بنوع محدود من المشاهدات، مهملا تأثير الكميات الأخرى، أو ممثلا إياها بمجموعات بسيطة من الأرقام. وقد يكون هذا التناول خطأ بالكامل. فإذا كان كل شئ فى الكون يعتمد اعتمادا جوهريا على كل شئ آخر، فقد يكون من المستحيل الاقتراب من حل تام بأن تُستقصى أجزاء المشكلة وهى منفصلة. ومع كل، فهذه بالتأكيد هى الطريقة التى صنعنا بها تقدمنا فيما مضى. والمثل الكلاسيكى مرة أخرى هو نظرية نيوتن عن الجاذبية، التى تخبرنا بأن قوة التجاذب بين جسمين تعتمد فحسب على رقم واحد مرتبط بكل جسم، هو كتلته، ولكنها فيما عدا ذلك لا تعتمد على ما تُصنع منه الأجسام. وهكذا فإن المرء لا يحتاج لنظرية عن بنية وتكوين الشمس والكواكب حتى يحسب أفلاكها.

واليوم فإن العلماء يوصفون الكون فى حدود نظريتين جزئيتين أساسيتين – نظرية النسبية العامة وميكانيكا الكم. فهما الإنجازان الثقافيان العظيمان للنصف الأول من هذا القرن. ونظرية النسبية العامة تصف قوة الجاذبية وبنية الكون بالمقياس الكبير، أى البنية بمقاييس تتراوح من عدة أميال فحسب حتى ما يصل كبره إلى مليون مليون مليون مليون (واحد يتبعه أربعة وعشرون صفرا) من الأميال، أى حجم الكون القابل للرصد. وميكانيكا الكم من الجانب الآخر تتناول ظواهر بمقاييس بالغة الصغر، مثل جزء من المليون من جزء من المليون من البوصة. على أنه لسوء الحظ، من المعروف أن هاتين النظريتين لا تتوافق إحداهما مع الأخرى – فلا يمكن أن تكون كلاهما صحيحة. وإحدى المحاولات الرئيسية التى تبذل فى الفيزياء اليوم، وهى أيضا المبحث الرئيسى لهذا

الكتاب، هى البحث عن نظرية جديدة تدمج النظريتين معا – نظرية كم للجاذبية. وليس لدينا بعد نظرية كهذه، وربما كنا لا نزال بعيدين عن الحصول عليها، ولكننا نعرف بالفعل من قبل الكثير من الخواص التى ينبغى أن تكون لها. وسوف نرى فى الفصول القادمة، أننا نعرف من قبل قدرا له اعتباره من التنبؤات التى ينبغى أن تصنعها نظرية كم للجاذبية.

والآن فلو أنك تؤمن بأن الكون ليس عشوائيا، وإنما تحكمه قوانين محددة، فإن عليك فى النهاية أن تضم النظريات الجزئية فى نظرية كاملة موحدة ستوصف كلى شئ فى الكون. على أن ثمة مفارقة أساسية فى البحث عن نظرية كاملة موحدة هكذا. فالأفكار عن النظريات العلمية التى أوجزناها أعلاه تفترض أننا كائنات عقلانية لنا حرية مشاهدة الكون كما نريد وأن نستنبط استنباطات منطقية مما نراه. وفى مخطط كهذا يكون من المعقول أن نفترض أننا ربما نتقدم دائما مقتربين بأكثر من القوانين التى تحكم كوننا. ولكن لو أن هناك حقا نظرية كاملة موحدة، فإنها فيما يفترض أيضا سوف تحتم أفعالنا. وهكذا فإن النظرية نفسها ستحتم حصيلة بحثنا عنها! ولماذا ينبغى أن تحتم أننا سنصل إلى الاستنتاجات الصحيحة من برهاننا؟ ألا يمكن بما يساوى ذلك أنها ستحتم وصولنا إلى الاستنتاج الخطأ؟ أو إلى لا استنتاج على الإطلاق؟

إن الإجابة الوحيدة التى استطيع أن أدلى بها عن هذه المشكلة تتأسس على مبدأ الانتخاب الطبيعى. والفكرة هى أنه فى أى مجموعة من الكائنات التى تتكاثر ناسخة لذاتها، سيكون ثمة تباينات فى المادة الوراثية وفى النشأة عند الأفراد المختلفين. وهذه الاختلافات تعنى أن بعض الأفراد هم أقدر عن الآخرين فى استنباط النتائج الصحيحة عن العالم من حولهم وفى أن يتصرفوا حسب ذلك. وهؤلاء الأفراد يزيد احتمال بقاؤهم وتكاثرهم؛ وهكذا فإن نمط سلوكهم وفكرهم هو الذى سيصل إلى الهيمنة. ومن المؤكد أنه كان من الحقيقى فى الماضى أن ما نسميه الذكاء هو والكشف العلمى قد أضفيا ميزة بالنسبة للبقاء. على أنه ليس من الواضح إذا كان الحال ما زال كذلك : فكشوفنا العلمية قد تؤدى إلى دمارنا كلنا تماما، وحتى لو لم تفعل، فإن النظرية الكاملة الموحدة لن تجعل ثمة فارقا كبيرا بالنسبة لفرصتنا فى البقاء. وعلى كل، بافتراض أن الكون قد تطور بأسلوب منتظم، فإن لنا أن نتوقع أن القدرات العقلية التى أتاحها لنا الانتخاب الطبيعى ستكون أيضا صالحة فى بحثنا عن نظرية كاملة موحدة، وهكذا فإنها لن تؤدى بنا إلى الاستنتاجات الخطأ.

ولما كانت النظريات الجزئية التى لدينا من قبل كافية لصنع تنبؤات مضبوطة فى كل المواقف عدا أقصاها تطرفا، فإن البحث عن نظرية نهائية للكون يبدو مما يصعب تبريره على أسس عملية. (على أنه مما يستحق الذكر أنه كان من الممكن استخدام حجج مشابهة ضد كل من

النسبية وميكانيكا الكم، وهاتان النظريتان قد أعطيتا لنا كلا من الطاقة النووية وثورة الالكترونات الدقيقة!) إن اكتشاف نظرية كاملة موحدة هو إذن مما قد لا يساعد على بقاء نوعنا. بل إنه قد لا يؤثر في أسلوب حياتنا. على أن الناس دائما منذ فجر المدنية لم يقنعوا بأن يروا الأحداث على أنها غير مترابطة وغير قابلة للتفسير. فظلوا يلتمسون فهم النظام الأساسي للعالم. واليوم فإننا ما زلنا نتوق لمعرفة لماذا نحن هنا ومن أين أتينا. إن الرغبة الإنسانية العميقة في المعرفة لهي مبرر كاف لبحثنا المتصل. وهدفنا لا أقل من توصيف كامل للكون الذي نعيش فيه.



٢

المكان والزمان

ترجع أفكارنا الحالية عن حركة الأجسام إلى جاليليو ونيوتن. وكان الناس قبلهما يصدقون أرسطو، الذى قال إن الحالة الطبيعية لجسم ما هى أن يكون ساكنا، وأنه لا يتحرك إلا إذا دفعته قوة أو دافع. وبالتالى فإن الجسم الثقيل ينبغى أن يسقط بأسرع من الجسم الخفيف، لأنه سيكون له شد أكبر إلى الأرض.

'والتراث الأرسطى يؤمن أيضا بأن المرء يستطيع أن يستنبط كل القوانين التى تحكم الكون بالفكر الصرف: فليس من الضرورى التحقق بواسطة المشاهدة. وهكذا لم يهتم أحد حتى زمن جاليليو بأن يرى ما إذا كانت الأجساد ذات الوزن المختلف تسقط فعلا فى الحقيقة على سرعات مختلفة. ويقال أن جاليليو برهن على زيف اعتقاد أرسطو بأن أسقط أثقالا من برج بيزة المائل. ويكاد يكون من المؤكد أن هذه القصة غير حقيقية، ولكن جاليليو قام فعلا بصنع شئ مماثل : فقد دحرج كرات من أوزان مختلفة أسفل منحدر ممهد. والوضع يشبه الأجسام الثقيلة إذ تسقط رأسيا، ولكنه أسهل فى ملاحظته لأن السرعات تكون أقل. وقد بينت قياسات جاليليو أن كل جسم قد زادت سرعته بنفس المعدل، بصرف النظر عن وزنه. فمثلا، يمكنك أن تطلق كرة على منحدر ينحدر مترا واحدا لكل عشرة أمتار تقطعها، وستتحرك الكرة أسفل المنحدر بسرعة تقرب من متر فى الثانية بعد ثانية واحدة، ومترين فى الثانية بعد ثانيتين، وهلم جرا، مهما كان ثقل الكرة. وبالطبع فإن ثقلا من الرصاص سيكون سقوطه أسرع من الريشة، ولكن السبب فى هذا هو فقط أن مقاومة الهواء تقلل من سرعة الريشة. ولو أسقط المرء جسمين ليس لهما مقاومة كبيرة للهواء، مثل ثقلين مختلفين من الرصاص، فإنهما يسقطان بنفس المعدل.

وقد استخدم نيوتن قياسات جاليليو كأساس لقوانينه عن الحركة. وفى تجارب جاليليو، إذ يتدحرج أحد الأجسام أسفل المنحدر فإنه يكون دائما تحت مفعول نفس القوة (ثقله)، وتأثير ذلك

هو أن تتزايد سرعته بثبات. ويبين هذا أن التأثير الحقيقى لقوة ما هو أنها دائما تغير من سرعة الجسم، بدلا من أن تحركه فحسب، كما كان الاعتقاد من قبل. ويعنى هذا أيضا أنه طالما كان أحد الأجسام غير واقع تحت مفعول أى قوة، فإنه سيظل يتحرك فى خط مستقيم بنفس السرعة. وقد تم ذكر هذه الفكرة لأول مرة بوضوح فى مؤلف نيوتن «المبادئ الرياضية» الذى نشر فى ١٦٨٧، وتُعرف بقانون نيوتن الأول. ويعطى لنا قانون نيوتن الثانى ما يحدث لأحد الأجسام عندما تُحدث فعلا إحدى القوى مفعولها عليه. ويقرر هذا أن الجسم ستزيد عجلته، أو تتغير سرعته، بمعدل يتناسب مع القوة. (وكمثل، فإن العجلة يتضاعف قدرها عندما يتضاعف قدر القوة). والعجلة تقل أيضا بزيادة كتلة الجسم (أو كمية مادته). (عندما تعمل نفس القوة على جسم له ضعف الكتلة سينتج عن ذلك تنصيف العجلة). ومن الأمثلة المألوفة ما تمد به السيارة : فكلما زادت قوة المحرك، زادت العجلة، ولكن كلما ثقلت السيارة، قلت عجلة نفس المحرك.

وبالإضافة إلى قوانينه عن الحركة، اكتشف نيوتن قانونا يصف قوة الجاذبية، يقرر أن كل جسم يجذب كل جسم آخر بقوة تتناسب مع كتلة كل جسم. وهكذا فإن القوة التى بين جسمين ستزيد إلى الضعف لو أن أحد الجسمين (الجسم أ مثلا) تضاعفت كتلته. وهذا ما يمكن أن تتوقعه لأن المرء يستطيع أن يتصور الجسم الجديد أ وكأنه مصنوع من جسمين كل بالكتلة الأصلية. وكل منهما سوف يجذب الجسم ب بالقوة الأصلية. وهكذا فإن القوة الكلية بين أ و ب تصبح ضعف القوة الأصلية. وإذا كان لأحد الجسمين مثلا ضعف الكتلة، وللثانى ثلاثة أضعاف الكتلة فإن القوة تصبح أشد بستة أضعاف. ويستطيع المرء الآن أن يعرف لماذا تسقط كل الأجسام بنفس المعدل : فالجسم ذى الوزن المضاعف سيكون شده لأسفل بضعف قوة الجاذبية، ولكنه أيضا له ضعف الكتلة. وحسب قانون نيوتن الثانى، فإن هذين المفعولين يلغى أحدهما الآخر بالضبط؛ وهكذا فإن العجلة تكون هى نفسها فى كل الحالات.

وقانون نيوتن للجاذبية يخبرنا أيضا أنه كلما تباعدت الأجسام، صغرت القوة. ويقول قانون نيوتن للجاذبية إن شد جاذبية أحد النجوم يكون بالضبط ربع شد نجم مماثل على نصف المسافة. ويتنبأ هذا القانون بأفلاك الأرض، والقمر، والكواكب بدقة عظيمة. ولو كان القانون هو أن شد
ويتنبأ هذا القانون بأفلاك الأرض، والقمر، والكواكب بدقة عظيمة. ولو كان القانون هو أن شد
جاذبية أحد النجوم يقل بالمسافة بسرعة أكبر، فإن أفلاك الكواكب لن تكون اهليلجية، وإنما النجوم البعيدة ستتغلب على قوى الجاذبية من الأرض.

والفارق الكبير بين أفكار أرسطو وأفكار جاليليو ونيوتن هو أن أرسطو كان يؤمن بحال مفضل من السكون، يتخذه أى جسم ما دام لا تدفعه قوة أو دافع. وكان بالذات يعتقد أن الأرض

ساكنة. على أنه يترتب على قوانين نيوتن أن ليس ثمة معيار وحيد للسكون. فالمرء يستطيع أن يقول بما يتساوى في صحته، إن الجسم أ كان ساكنا بينما كان الجسم ب يتحرك بسرعة ثابتة بالنسبة للجسم أ، أو إن الجسم ب كان ساكنا بينما كان أ يتحرك. وكمثل، لو وضعنا جانبا للحظة دوران الأرض وفلكها حول الشمس، فإن المرء يستطيع القول بأن الأرض كانت ساكنة بينما ثمة قطار

الأرض وفلكها حول الشمس، فإن المرء يستطيع القول بأن الأرض كانت ساكنة بينما ثمة قطار
فوقها يتحرك شمالا بسرعة تسعين ميلا في الساعة، أو أن القطار كان ساكنا بينما الأرض تتحرك

كل قوانين نيوتن تظل صحيحة. وكمثل، لو لعبنا بكرة تنس الطاولة على القطار، سيجد المرء أن الكرة تخضع لقوانين نيوتن مثل كرة على مائدة بجوار القضبان. وهكذا فليس من وسيلة لمعرفة ما إذا كان أى من القطار أو الأرض هو الذى يتحرك.

وعدم وجود معيار مطلق للسكون يعنى أن المرء لا يستطيع أن يحدد إذا كان حدثان قد وقعا فى أوقات مختلفة هما مما حدث فى نفس الموضع من المكان. وكمثل، هب أن كرة تنس الطاولة على القطار قد نطت مباشرة لأعلى وأسفل، لترتطم بالنضد مرتين على نفس النقطة بفارق من ثانية واحدة. سيبدو للشخص الذى على القضبان أن النطتين قد وقعتا بما يفصلهما بأربعة أمتار، لأن القطار سيكون قد تحرك هذه المسافة على القضبان بين النطتين. وعدم وجود سكون مطلق يعنى إذن أن المرء لا يستطيع أن يعطى لأحد الأحداث موضعا مطلقا فى المكان، كما كان أرسطو يعتقد. ومواضع الأحداث والمسافات فيما بينها تختلف بالنسبة للشخص الذى على القطار والشخص الذى على القضبان، وليس من سبب لأن نفضل مواضع شخص ما على مواضع الآخرين.

وقد انزعج نيوتن للغاية من هذا الغياب للموضع المطلق، أو المكان المطلق كما كان يسمى، لأن هذا لا يتفق وفكرته عن المطلق. والحقيقة أنه رفض تقبل غياب المكان المطلق رغم أن هذا هو ما تدل عليه قوانينه. وقد انتقد أناس كثيرون اعتقاده هذا غير المنطقى، وعلى وجه الخصوص فقد انتقده الأسقف بركلى، وهو فيلسوف كان يؤمن بأن الأشياء المادية هى والمكان والزمان كلها توهم. وعندما ذكر للدكتور جونسون الشهير رأى بركلى، فإنه صاح قائلا: «إنى أدحضه هكذا!» وداس بأصبع قدمه على حصاة كبيرة.

وقد آمن كل من أرسطو ونيوتن بالزمان المطلق. أى أنهما آمنا بأن المرء يستطيع دون أى لبس أن يقيس فترة الزمن بين حدثين. وأن هذا الزمن سيكون هو نفسه أيا كان من يقيسه، بشرط أن يستخدموا ساعات جيدة. والزمان هو بالكلية منفصل ومستقل عن المكان. وهذا ما سيأخذه

معظم الناس على أنه رأى الحس المشترك. على أنه يتوجب علينا أن نغير أفكارنا هذه عن المكان والزمان. ورغم أن مفاهيم حسنا المشترك تصلح في الظاهر للعمل عندما نتناول أشياء من مثل التفاح أو الكواكب التى تتحرك بسرعة بطيئة نسبيا، إلا أنها لا تصلح للعمل بالنسبة لأشياء تتحرك بسرعة الضوء أو ما يقرب منها.

وحقيقة أن الضوء يتحرك بسرعة متناهية وإن كانت سريعة جدا، قد تم اكتشافها فى ١٦٧٦ بواسطة الفلكى الدنمركى أول كريستنسن رويمر. وقد لاحظ أن الأوقات التى يبدو فيها أن أقمار المشترى تمر من ورائه لم تكن موزعة على فترات متساوية، كما يتوقع المرء لو كانت الأقمار تدور حول المشترى بمعدل ثابت. ولما كانت الأرض والمشترى يدوران حول الشمس، فإن المسافة بينهما تتغير. ولاحظ رويمر أن خسوفات أقمار المشترى تظهر متأخرة أكثر كلما ابتعدنا عن المشترى. وحاجّ بأن سبب ذلك هو أن الضوء من هذه الأقمار يستغرق زمنا أطول ليصلنا عندما نكون على مسافة أبعد. على أن قياساته للتباين فى مسافة بعد الأرض عن المشترى لم تكن بالدقيقة جدا، وهكذا أيضا فإن القيمة التى حددها لسرعة الضوء وهى ١٤٠,٠٠٠ ميل فى الثانية لم تكن دقيقة جدا بالمقارنة بالقيمة الحديثة وهى ١٨٦,٠٠٠٠ ميلا فى الثانية. ورغم هذا، فإن انجاز رويمر كان رائعا، ليس فقط فى إثبات أن الضوء ينتقل بسرعة متناهية، وإنما أيضا فى قياس تلك السرعة - وحيث قد تأتى ذلك كما حدث قبل أن ينشر نيوتن «المبادئ الرياضية» بإحدى عشرة سنة.

ولم تظهر النظرية الملائمة لانتشار الضوء حتى عام ١٨٦٥ عندما نجح الفيزيائى البريطانى جيمس كلارك مكسويل فى توحيد النظريات الجزئية التى كانت تستخدم حتى ذلك الوقت فى توصيف قوى الكهرباء والمغناطيسية. وتنبأت معادلات مكسويل بأنه يمكن أن توجد اضطرابات تشبه الموجات فى المجال الكهرومغنطى المشترك، وأن هذه سوف تنتقل بسرعة ثابتة، مثل التموجات فى بركة. وعندما تكون أطوال هذه الموجات (أى المسافة بين ذروة موجة والذروة التالية) مترا أو أكثر، فإنها ما نسميه الآن موجات الراديو. والموجات الأقصر تسمى ميكروويف (عدة سنتيمترات) أو تحت الحمراء (أكثر من جزء من العشرة آلاف من السنتيمتر). والضوء المرئى له طول موجة يصل فقط إلى ما بين أربعين وثمانين جزء من المليون من السنتيمتر. بل والموجات ذات الطول الأصغر تعرف بفوق البنفسجية، وأشعة إكس، وأشعة جاما.

وتنبأت نظرية مسكويل بأن موجات الراديو أو أشعة الضوء ينبغى أن تنتقل بسرعة معينة ثابتة. ولكن نظرية نيوتن كانت قد تخلصت من فكرة السكون المطلق، وهكذا فإذا كان يُفترض أن

الضوء ينتقل بسرعة ثابتة، فلا بد للمرء أن يذكر ما هو الشئ الذى تقاس هذه السرعة الثابتة بالنسبة إليه. وهكذا تم اقتراح أن ثمة مادة تسمى «الأثير» موجودة فى كل مكان، حتى فى الفضاء «الخاوى». وينبغى أن موجات الضوء تنتقل من خلال الأثير مثلما تنتقل موجات الصوت من خلال الهواء، وإذن فينبغى أن تكون سرعتها منسوبة للأثير. والراصدون المختلفون، الذين يتحركون حركة منسوبة للأثير، سوف يرون الضوء آتيا تجاههم بسرعات مختلفة، ولكن سرعة الضوء بالنسبة للأثير ستبقى ثابتة. وبالذات، فإنه عندما تتحرك الأرض من خلال الأثير فى مدارها حول الشمس، فإن سرعة الضوء التى تقاس فى اتجاه حركة الأرض خلال الأثير (عندما نتحرك فى اتجاه مصدر الضوء) ينبغى أن تكون أعلى من سرعة الضوء وهو فى زاوية قائمة على تلك الحركة (عندما لا نتحرك نحو مصدر الضوء). وفى ١٨٨٧ أجرى ألبرت ميكلسون (الذى أصبح فيما بعد أول أمريكى يتلقى جائزة نوبل فى الفيزياء) هو وإدوارد مورلى تجربة ناجحة جدا فى مدرسة كيس للعلم التطبيقى فى كليفلند. فقد قارنا بين سرعة الضوء فى اتجاه حركة الأرض وسرعته وهو فى زاوية قائمة على حركة الأرض. ولدهشتهما الكبرى، وجدا أنهما متماثلتان بالضبط!

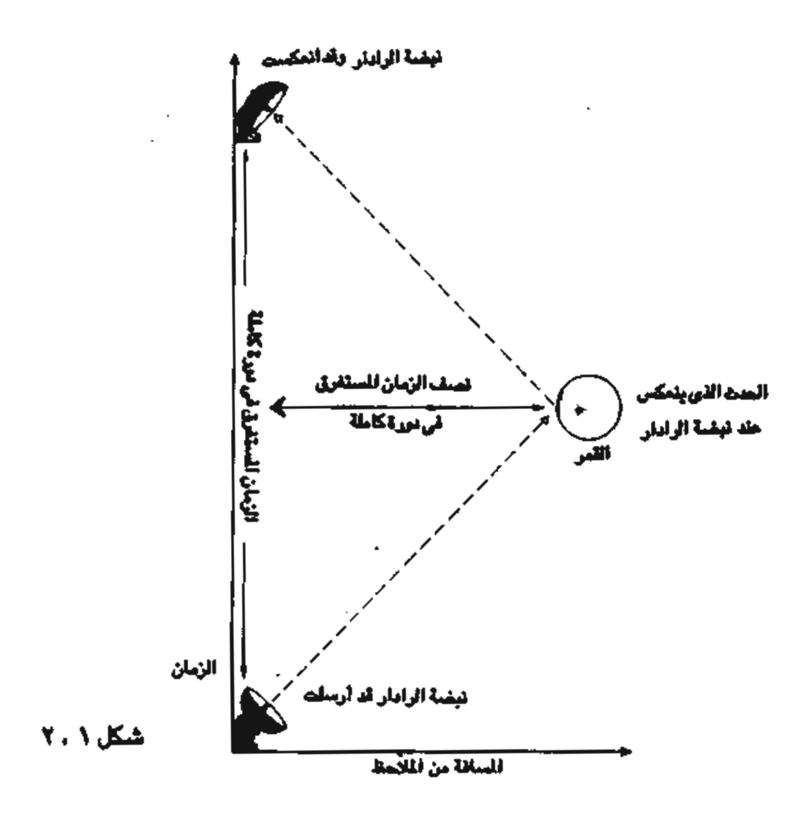
كان ثمة محاولات عديدة بين ١٨٨٧ و ١٩٠٥، أبرزها محاولة الفيزيائى الهولندى هندريك لورنتز، لتفسير نتيجة تجربة ميكلسون – مورلى بلغة من أشياء تنكمش وساعات تبطئ عندما تتحرك خلال الأثير. على أنه قد نشرت ورقة بحث شهيرة فى ١٩٠٥ لألبرت إينشتين، الذى كان حتى ذلك الوقت كاتب غير معروف فى مكتب سويسرى للبراءات، وفيها يبين أن فكرة الأثير بأسرها غير ضرورية، بشرط أن يكون المرء على استعداد لنبذ فكرة الزمان المطلق. وبعدها بعدة أسابيع أبدى أحد الرياضيين الفرنسيين المبرزين، وهو هنرى بوانكاريه، رأيا مماثلا. وكانت حجج إينشتين أقرب إلى الفيزياء من حجج بوانكاريه، الذى كان ينظر إلى هذه المشكلة على أنها رياضية. وعادة يُنسب الفضل فى النظرية الجديدة إلى إينشتين، على أن بوانكاريه يُذكر على أن اسمه يرتبط بجزء مهم منها.

والفرض الأساسى لنظرية النسبية، كما سميت، هو أن قوانين العلم ينبغى أن تكون متماثلة بالنسبة لكل القائمين بالملاحظة الذين يتحركون بحرية، بصرف النظر عن سرعتهم. ويصدق هذا على قوانين نيوتن للحركة، ولكن الفكرة قد وسعت الآن لتشمل نظرية مكسويل وسرعة الضوء: فينبغى أن يقيس كل الملاحظين نفس سرعة الضوء، بصرف النظر عن سرعة تحركهم. ولهذه الفكرة البسيطة بعض نتائج ملحوظة. ولعل أشهرها هو تكافؤ الكتلة والطاقة، كما جمّعه إينشتين فى

معادلته المشهورة $E = mc^2$ (حيث E هى الطاقة energy، و m هى الكتلة mass ، و c هى سرعة الضوء)، وكذلك هناك القانون بأن لا شئ ينتقل بأسرع من سرعة الضوء. وبسبب تكافؤ الطاقة والكتلة، فإن الطاقة التى تكون لأحد الأشياء بسبب حركته سوف تضيف إلى كتلته. وبكلمات أخرى فإنها ستجعل من الأصعب زيادة سرعته. وهذا التأثير لا يكون له دلالة حقا، إلا بالنسبة للأشياء التى تتحرك فى سرعات قريبة من سرعة الضوء. وكمثل فإنه عند سرعة تبلغ ١٠ فى المائة من سرعة الضوء تزيد كتلة الشئ بما هو فقط أكثر من الطبيعى بـ ٠,٥ فى المائة، بينما عند سرعة ٩٠ فى المائة من سرعة الضوء ستكون الكتلة أكثر من ضعف كتلته الطبيعية. وإذ يقترب الشئ من سرعة الضوء، فإن كتلته تتزايد دائما بسرعة أكبر، وهكذا فإنه يستنفد المزيد والمزيد من الطاقة حتى يزيد سرعته بأكثر. والحقيقة أنه لا يستطيع قط أن يصل إلى سرعة الضوء، لأن كتلته ستصبح عندها لا متناهية، وحسب تكافؤ الكتلة والطاقة، فإنه سيستلزم قدرا لا متناهيا من الطاقة ليصل إلى ذلك. ولهذا السبب فإن أى شئ طبيعى يكون حسب النسبية مقيدا للأبد بأن يتحرك بسرعة أقل من سرعة الضوء. والضوء وحده، أو الموجات الأخرى، التى ليس لها كتلة ذاتية، هو الذى يستطيع أن يتحرك بسرعة الضوء.

وإحدى نتائج النسبية التى تساوى ذلك روعة، هى الطريقة التى ثُورت بها أفكارنا عن المكان والزمان. ففى نظرية نيوتن، لو أرسلت نبضة ضوء من مكان لآخر، فإن الملاحظين المختلفين سيتفقون على الوقت الذى استغرقته الرحلة (حيث أن الزمان مطلق)، ولكنهم لن يتفقوا دائما على مدى المسافة التى تحركها الضوء (حيث أن المكان ليس مطلقا). ولما كانت سرعة الضوء هى وحسب المسافة التى تحركها مقسومة على الزمان الذى استغرقه، فإن الملاحظين المختلفين سيقيسون سرعات مختلفة للضوء. أما فى النسبية من الجانب الآخر، فإن كل الملاحظين «يجب» أن يتفقوا على قدر سرعة حركة الضوء. على أنهم ما زالوا لا يتفقون على المسافة التى تحركها الضوء، وهكذا فإنهم إذن يجب أن يختلفوا الآن أيضا على الوقت الذى يستغرقه. (الوقت المستغرق هو المسافة التى تحركها الضوء – والتى لا يتفق عليها الملاحظون – مقسومة على سرعة الضوء – التى يتفق عليها الملاحظون فعلا). وبكلمات أخرى، فإن نظرية النسبية وضعت النهاية لفكرة الزمان المطلق! وبدا أن كل ملاحظ يجب أن يكون لديه قياسه الخاص للزمان، كما تسجله الساعة التى يحملها معه، وأن الساعات المتماثلة الى يحملها ملاحظون مختلفون ليست بالضرورة متفقة.

ويستطيع كل ملاحظ أن يستخدم الرادار ليقول أين ومتى وقع الحدث، وذلك بأن يرسل



شكل ١ ، ٢ يقاس الزمان عموديا، ويقاس بعد المسافة عن الملاحظ أفقيا. ومسار الملاحظ في المكان والزمان يبينه الخط الرأسي على اليسار. ومسارات أشعة الضوء إلى ومن الحدث هي الخطوط المائلة.

نبضة من موجات الضوء أو الراديو. وينعكس جزء من النبضة عائدا من الحدث ويقيس الملاحظ الزمن الذي يتلقى عنده الصدى. ويقال بعدها أن زمن الحدث هو الوقت الذي في المنتصف بين زمن إرسال النبضة والزمن الذي تم فيه استقبال الأنعكاس ثانية : فمسافة الحدث هي نصف الوقت الذي يُستغرق لهذه الرحلة الدائرية، مضروبا بسرعة الضوء. (والحدث بهذا المعنى، هو شئ يقع عند نقطة واحدة في المكان، وعند نقطة محددة في الزمان). وهذه الفكرة موضحة في شكل ١ ، ٢، وهو مثل الرسم البياني للمكان - الزمان. وباستخدام هذه الطريقة فإن الملاحظين الذي يتحرك بعضهم بالنسبة للبعض سيعينون أوقات ومواضع مختلفة لنفس الحدث. ولن تكون قياسات ملاحظ معين أكثر دقة بأي حال عن قياسات أي ملاحظ آخر، ولكن القياسات كلها نسبية. وأي ملاحظ

يستطيع أن يستنبط بالضبط ما هو الزمان والموضع الذى سيعينه أى ملاحظ آخر لأحد الأحداث، بشرط أن يعرف السرعة النسبية للملاحظ الآخر.

ونحن الآن نستخدم بالضبط هذه الطريقة لقياس المسافات قياسا دقيقا، لأننا نستطيع قياس الوقت بدقة أكبر من الأطوال. والواقع، أن المتر يُعرّف بأنه المسافة التى يقطعها الضوء فى ٠,٠٠٠٠٠٠٠٠٣٣٣٥٦٤٠٩٥٢ من الثانية، كما يقاس بساعة سيزيوم. (السبب فى هذا الرقم بالذات هو أنه يناظر التعريف التاريخي للمتر - فى حدود علامتين على قضيب بلاتينى معين محفوظ فى باريس). وبالمثل، يمكننا استخدام وحدة طول جديدة أكثر ملائمة تسمى ثانية - ضوئية. وهى تعرّف ببساطة بأنها المسافة التى يقطعها الضوء فى ثانية واحدة. ونحن فى نظرية النسبية، نعرّف المسافة الآن بحدود من الزمان وسرعة الضوء، ويترتب على ذلك تلقائيا أن كل ملاحظ يقيس الضوء سيجد أن له نفس السرعة (حسب التعريف، متر واحد لكل ٠,٠٠٠٠٠٠٠٠٣٣٣٥٦٤٠٩٥٢ من الثانية). وليس من حاجة لإدخال فكرة الأثير، الذى لا يمكن بأى حال اكتشاف وجوده، كما بينت تجربة ميكلسون - مورلى. على أن نظرية النسبية تجبرنا بالفعل على أن نغير أفكارنا عن المكان والزمان تغييرا جوهريا. فيجب أن نتقبل أن الزمان ليس منفصلا ولا مستقلا على نحو تام عن المكان، ولكنه ينضم معه ليشكلا شيئا يسمى المكان - الزمان.

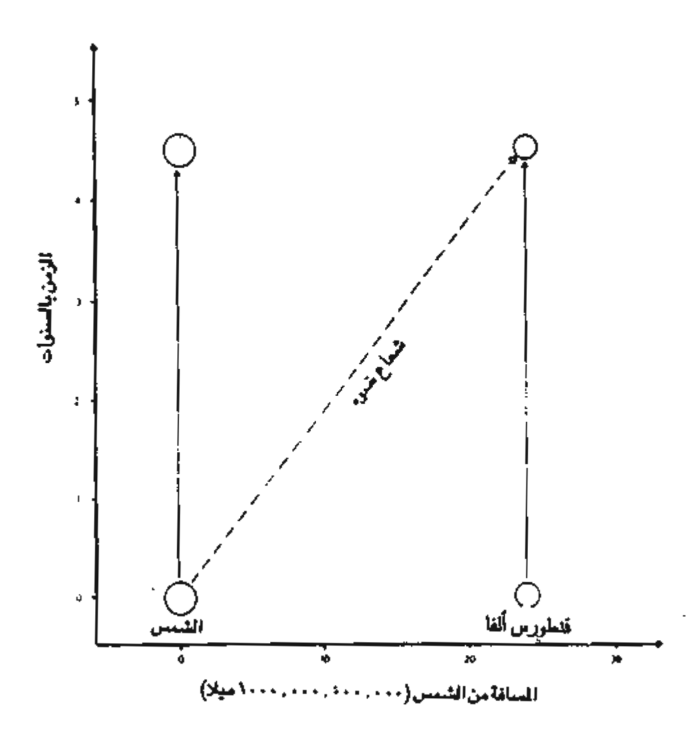
ومن أمور الخبرة المشتركة أن المرء يستطيع توصيف موقع نقطة فى المكان بثلاثة أرقام أو إحداثيات. فمثلا يمكن للمرء أن يقول إن إحدى النقط فى غرفة هى علىْ بعد سبعة أقدام من أحد الجدران، وثلاثة أقدام من جدار آخر، وخمسة أقدام فوق الأرضية. أو يستطيع المرء أن يحدد أن إحدى النقط هى عند خط عرض وخط طول معينين وعند ارتفاع معين فوق سطح البحر. وللمرء حرية اختيار أى ثلاثة إحداثيات ملائمة، وإن كان لها نطاق محدود لا غير من صحة الاستخدام. فلن يحدد المرء موضع القمر بحدود من الأميال شمال وغرب ميدان ميكاديللى والأقدام التى يرتفع بها عن سطح البحر. وبدلا من ذلك، فإن للمرء أن يوصفه بحدود من البعد عن الشمس، والبعد عن مستوى أفلاك الكواكب، والزاوية بين خط يصل القمر بالشمس وخط يصل الشمس بنجم قريب مثل قنطروس ألفا. وحتى هذه الإحداثيات لن تكون ذات فائدة كبيرة فى توصيف موقع الشمس فى مجرتنا أو موضوع مجرتنا فى المجموعة المحلية من المجرات. والحقيقة، أن المرء قد يوصف الكون كله فى حدود من مجموعة من الرقع المتداخلة. ويستطيع المرء فى كل رقعة أن يستخدم مجموعة من ثلاثة إحداثيات لتعيين موضع إحدى النقاط.

والحدث هو شئ يحدث عند نقطة معينة فى المكان وعند زمن معين. وهكذا يستطيع المرء أن يحدده بأربعة أرقام أو إحداثيات. ومرة أخرى، فإن اختيار الإحداثيات أمر تعسفى؛ فيستطيع المرء

أن يستخدم أى ثلاثة إحداثيات مكانية محددة جيدا وأى مقياس للزمان. وليس فى النسبية تمييز حقيقى بين إحداثيات المكان والزمان، تماما مثلما لا يوجد أى فارق حقيقى بين أى إحداثيين للمكان. ويستطيع المرء أن يختار مجموعة جديدة من الإحداثيات يكون فيها أول إحداثيات المكان مثلا، توليفة من الإحداثيين المكانيين القديمين الأول والثانى. فمثلا، بدلا من قياس موضع نقطة على الأرض بالأميال شمال بيكاديللى وغرب بيكاديللى، فإنه يمكن للمرء أن يستخدم الأميال شمال شرق بيكاديللى، والأميال شمال غرب بيكاديللى. وبالمثل فإنه فى النسبية يمكن للمرء أن يستخدم إحداثيا جديدا للزمان هو الزمان القديم (بالثوانى) زائدا المسافة (بالثانية الضوئية) شمال بيكاديللى.

ومما سيساعدنا كثيرا أن نتصور الإحداثيات الأربعة لحدث ما على أنها تعين موضعه فى فضاء ذى أربعة أبعاد يسمى المكان - الزمان. ومن المستحيل تخيل مكان رباعى الأبعاد وأنا شخصيا أجد من الصعوبة بمكان أن يتصور المرء مكانا ثلاثى الأبعاد! على أنه من السهل رسم أشكال بيانية لمسافات ذات بعدين، مثل سطح الأرض. (سطح الأرض ذو بعدين لأن موضع نقطة ما يمكن تعيينه بإحداثيين، خط العرض وخط الطول). وسوف استخدم بصفة عامة الرسوم البيانية التى يزيد فيها الزمان لأعلى ويُبيَّن فيها أحد الأبعاد المكانية أفقيا. والبعدان المكانيان الآخران يتم تجاهلهما، أو أحيانا يُبيَّن واحد منهما برسم المنظور. (وتسمى هذه رسوم بيانية للمكان - الزمان، كما فى شكل ٢.١) وكمثل فى شكل ٢.٢ يقاس الزمان لأعلى بالسنوات وتقاس المسافة على طول الخط من الشمس لقنطورس ألفا أفقيا بالأميال. ومسارى الشمس وقنطورس ألفا خلال المكان - الزمان تبينها الخطوط الرأسية التى إلى يسار ويمين الشكل. ويتبع شعاع للضوء من الشمس الخط المائل، ويستغرق أربعة أعوام ليصل من الشمس إلى قنطورس ألفا.

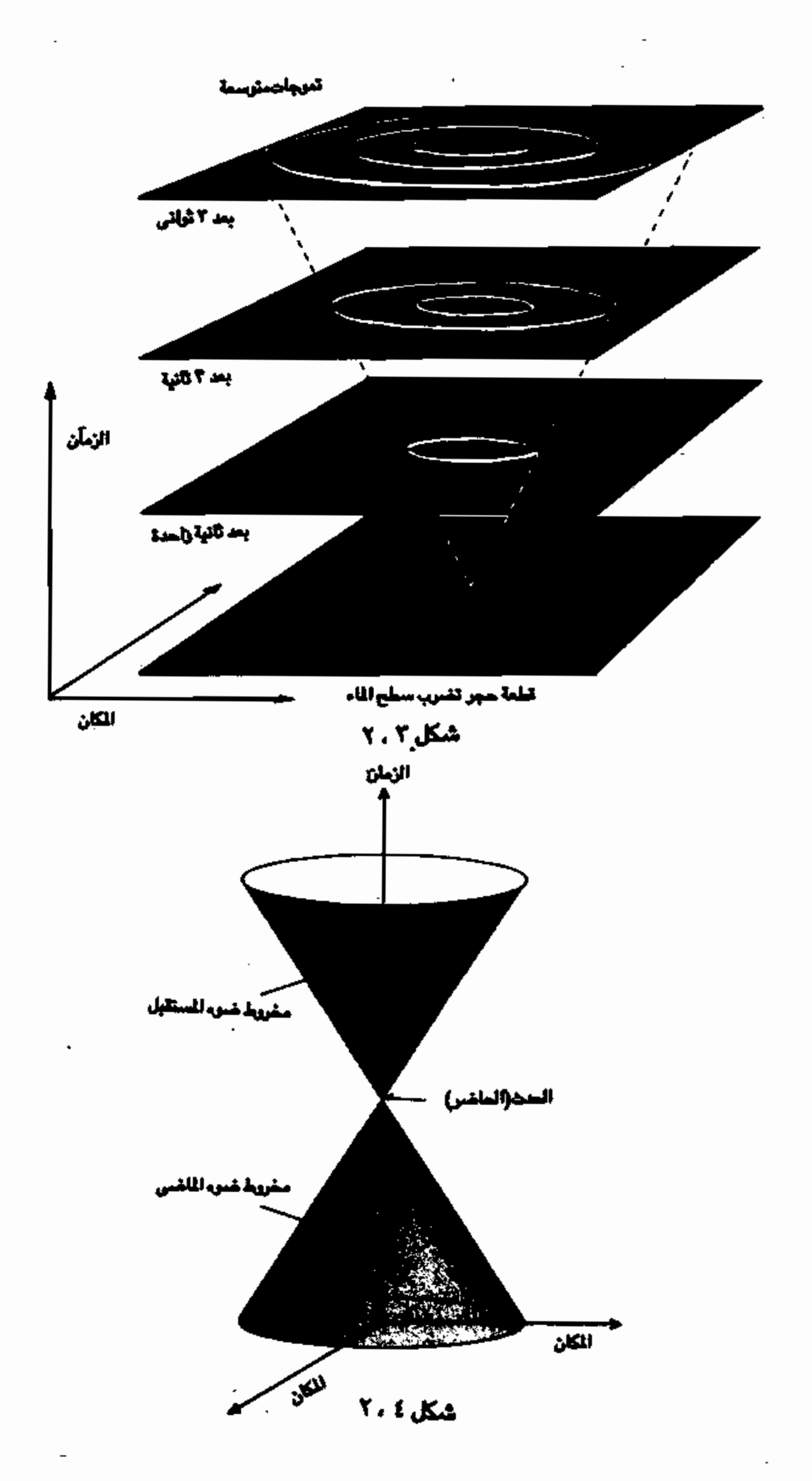
وكما رأينا من قبل، فإن معادلات مكسويل تنبأت بأن سرعة الضوء ينبغى أن تكون هى نفسها مهما كانت سرعة المصدر، وقد تأكد هذا بقياسات دقيقة. ويترتب على ذلك أنه إذا انبعثت نبضة ضوء عند زمن معين عند نقطة معينة فى المكان، فإنها مع مرور الزمن سوف تنتشر للخارج فى كرة من الضوء حجمها وموقعها مستقلان عن سرعة المصدر. وبعد جزء من المليون من الثانية يكون الضوء قد انتشر ليكون كرة نصف قطرها ٣٠٠ مترا؛ وبعد جزئين من المليون من الثانية، يكون نصف القطر ٦٠٠ مترا؛ وهلم جرا. وسيكون الأمر مثل التموجات التى تنتشر للخارج على سطح بركة عندما تلقى فيها قطعة حجر. وتنتشر التموجات للخارج كدائرة تزداد كبرا بمرور الوقت. ولو تصور المرء نموذجا ثلاثى الأبعاد يتكوّن من سطح البركة ذى البعدين مع البعد الواحد للزمان، فإن دائرة التموجات المتسعة ستحدد مخروطا طرفه عند المكان والوقت الذى اصطدمت فيه قطعة الحجر بالماء (شكل ٢.٣). وبالمثل فإن الضوء الذى ينتشر للخارج من حدث ما يشكل مخروطا ثلاثى الأبعاد فى المكان - الزمان ذى الأبعاد الأربعة. وهذا المخروط يسمى مخروط ضوء



شكل ٢ ، ٢

المستقبل للحدث. ويمكننا بنفس الطريقة أن نرسم مخروطا آخر يسمى مخروط ضوء الماضى، وهو مجموعة الأحداث التى يمكن لنبضة ضوء أن تصل منها إلى الحدث المفروض (شكل ٤ ، ٢).

ومخروطات ضوء الماضى والمستقبل للحدث P تقسم المكان – الزمان إلى ثلاث مناطق (شكل ٥ ، ٢). والمستقبل المطلق للحدث هو المنطقة التى من داخل مخروط ضوء المستقبل لـ P. وهو مجموعة كل الأحداث التى يمكن لها فيما يحتمل أن تتأثر بما يحدث عند P . والأحداث خارج مخروط ضوء P لا يمكن أن تصل إليها إشارات من P لأنه ما من شئ يستطيع الإنتقال بأسرع من الضوء. وهكذا فإنها لا يمكن أن تتأثر بما يحدث عن P . والماضى المطلق ل P هو المنطقة التى من داخل مخروط ضوء الماضى. وهى مجموعة كل الأحداث التى يمكن لإشارات منها، تنتقل بسرعة تبلغ سرعة الضوء أو تقل عنها، أن تصل إلى P . فهى إذن مجموعة كل الأحداث التى تستطيع فيما يحتمل أن تؤثر فيما يحدث عند P . ولو عرف المرء ما يحدث عند وقت معين فى كل مكان من منطقة الفضاء التى تقع من داخل مخروط ضوء الماضى لـ P فإن المرء يستطيع أن يتنبأ بما سيحدث عند P . والمكان الآخر Else where هو منطقة المكان – الزمان التى لا تقع داخل

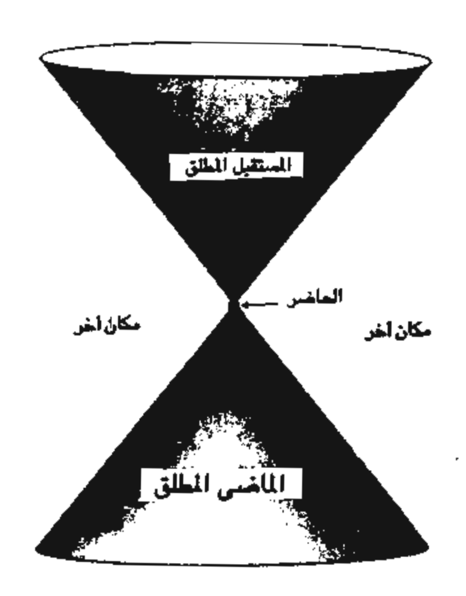


تموجات متوسعة
بعد ٣ ثواني
بعد ٢ ثانية
الزمان
بعد ثانية واحدة
قطعة حجر تضرب سطح الماء
المكان

شكل ٣ ، ٢

الزمان
مخروط ضوء المستقبل
الحدث (الحاضر)
مخروط ضوء الماضي
المكان
المكان

شكل ٤ ، ٢



شكل ٥ ، ٢

10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0

مخروط المستقبل للحدث

الأرض تدخل مخروط ضوء المستقبل لموت الشمس بعد ما يقرب من ٨ دقائق

موت الشمس لا يؤثر فينا فى التو لأننا لسنا داخل مخروطها لضوء المستقبل

الحدث حيث تموت الشمس

الزمن (بالدقيقة)

الشمس

الأرض

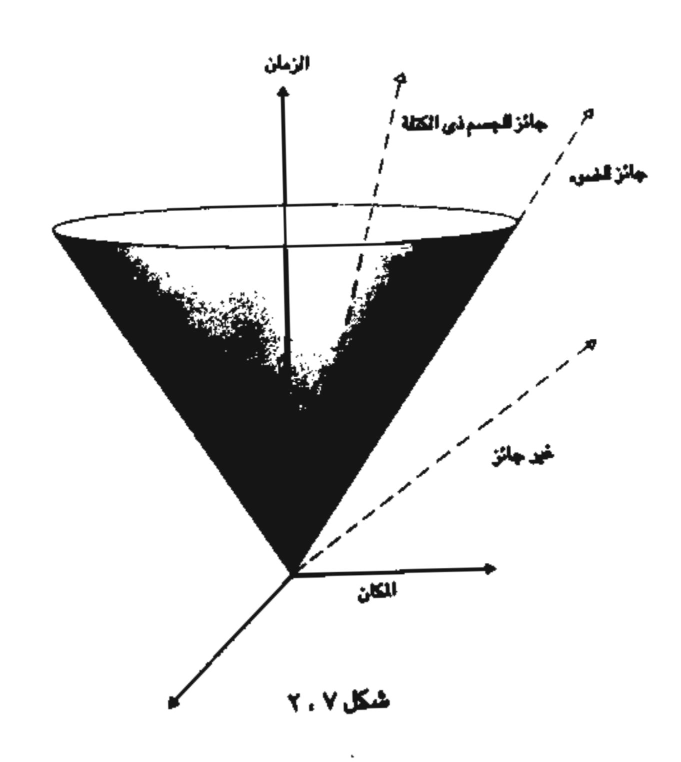
شكل ٦ ، ٢

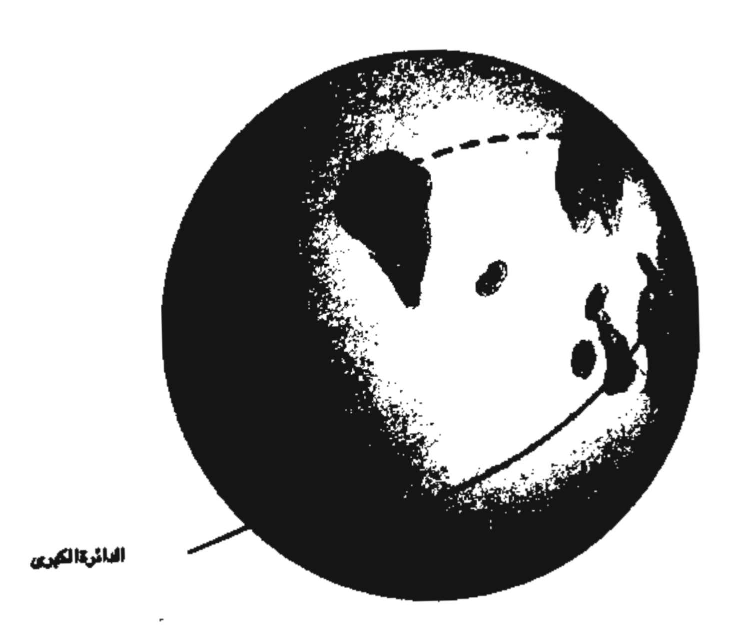
مخروط ضوء المستقبل أو الماضي لـ P. والأحداث في المكان الآخر لا يمكن أن تؤثر أو تتأثر بالأحداث عند P. وكمثل، فلو أن الشمس كانت ستتوقف عن الإضاءة في هذه اللحظة نفسها، فإنها لن تؤثر في الأشياء على الأرض في الوقت الحالي لأن هذه الأشياء ستكون في المكان الآخر بالنسبة للحدث عندما تنطفئ الشمس (شكل ٦ . ٢). ولن نعرف بالأمر إلا بعد ثماني دقائق، وهو الوقت الذي يستغرقه الضوء ليصلنا من الشمس. وعندها فقط تقع الأحداث التي على الأرض داخل مخروط ضوء مستقبل الحدث الذي انطفأت الشمس عنده. وبالمثل، فإننا لا نعرف ماذا يحدث في اللحظة الحالية بعيدا في الكون: فالضوء الذي نراه من المجرات البعيدة قد تركها منذ ملايين السنين، وفي حالة ما نراه من الأشياء التي على أقصى بعد منا، يكون الضوء قد بارحها من حوالي ثمانية آلاف مليون سنة. وهكذا فإننا عندما ننظر إلى الكون فنحن نراه كما كان في الماضي.

ولو أهمل المرء تأثيرات الجاذبية، كما فعل إينشتين وبوانكارية في ١٩٠٥، فإنه يحصل على ما يسمى النظرية الخاصة للنسبية. ويمكننا أن ننشئ لكل حدث في المكان – الزمان مخروط ضوء (مجموعة كل مسارات الضوء الممكنة في المكان – الزمان والتي تنبعث عند الحدث)، وحيث أن سرعة الضوء تكون هي نفسها عند كل حدث وفي كل اتجاه، فإن كل مخروطات الضوء ستكون متماثلة وستشير كلها في نفس الاتجاه. وتخبرنا النظرية أيضا أن شيئا لا يمكن أن ينتقل بأسرع من الضوء. ويعني هذا أن مسار أي شئ خلال المكان والزمان يجب أن يتم تمثيله بخط يقع من داخل مخروط الضوء عند كل حدث عليه (شكل ٧ . ٢).

ونظرية النسبية الخاصة نجحت جدا في تفسير أن سرعة الضوء تبدو هي نفسها لكل الملاحظين (كما بينت تجربة ميكلسون – مورلي) وفي توصيف ما يحدث عندما تتحرك الأشياء بسرعات مقاربة لسرعة الضوء. على أنها كانت غير متوافقة مع نظرية نيوتن للجاذبية التي تقول إن الأشياء يجذب أحدها الآخر بقوة تعتمد على المسافة التي بينها. ويعني هذا أنه لو حرك المرء أحد الأشياء، فإن القوة التي على الشئ الآخر ستتغير في التو. أو بكلمات أخرى، فإن تأثيرات الجاذبية ينبغي أن تنتقل بسرعة لا متناهية، بدلا من أن تكون بسرعة الضوء أو أقل منه، كما تتطلب نظرية النسبية الخاصة. وقام إينشتين بعدة محاولات فاشلة بين ١٩٠٨، و١٩١٤ للعثور على نظرية للجاذبية تتوافق مع النسبية الخاصة. وأخيرا فإنه في ١٩١٥ اقترح ما نسميه الآن النظرية العامة للنسبية.

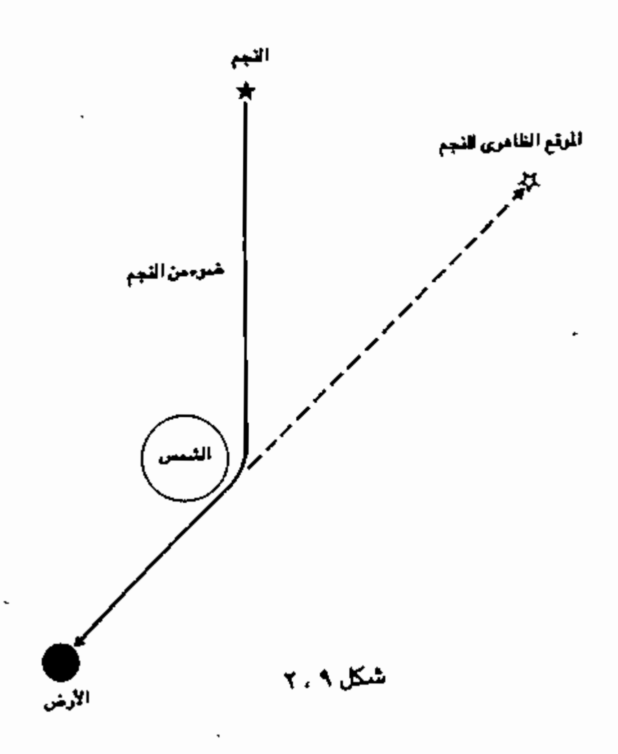
وطرح إينشتين اقتراحا ثوريا بأن الجاذبية ليست قوة مثل سائر القوى، ولكنها تنتج عن حقيقة أن المكان – الزمان ليس مسطحا كما كان يفترض من قبل: وإنما هو منحني، أو «ملوي»، بسبب توزيع الكتلة والطاقة فيه. فالأجسام مثل الأرض لم تُجعل لتتحرك على أفلاك منحنية بسبب


الزمان
جائز الجسم ذي الكتلة
جائز الضوء
غير جائز
المكان
شكل ٧ ، ٢


الدائرة الكبرى
شكل ٨ ، ٢

قوة تدعى الجاذبية؛ وبدلا من ذلك فأنها تتبع أقرب شئ للمسار المستقيم فى المكان المنحنى، وهو ما يسمى بالجيوديسى Geodesic. والجيوديسى هو أقصر (أو أطول) مسار بين نقطتين متجاورتين. وكمثل، فإن سطح الأرض هو مكان منحنى ذى بعدين. والجيوديسى على الأرض يسمى الدائرة الكبرى، وهو أقصر طريق بين نقطتين (شكل ٢.٨). ولما كان الجيوديسى هو أقصر طريق بين أى مطارين، فإنه هو الطريق الذى يخبر به ملاح الخط الجوى طياره حتى يطير فيه. وفى النسبية العامة، تتبع الأجسام دائما خطوطا مستقيمة فى المكان – الزمان ذى الأبعاد الأربعة، ولكنها مع ذلك تبدو لنا على أنها تتحرك على مسارات منحنية فى فراغنا ذى الأبعاد الثلاثة. (ويكاد هذا يشبه مراقبة طائرة تطير فوق أرض ذات تلال. ورغم أنها تتبع خطا مستقيما فى المكان ذى الأبعاد الثلاثة، إلا أن ظلها يتبع مسارا منحنيا على الأرض ذات البعدين).

وكتلة الشمس تُحنى المكان – الزمان بحيث أنه رغم اتباع الأرض مسارا مستقيما فى المكان – الزمان ذى الأبعاد الأربعة، إلا أنها تبدو لنا على أنها تتحرك فى فلك دائرى فى المكان ذى الأبعاد الثلاثة. والحقيقة أن أفلاك الكواكب التى تتنبأ بها النسبية العامة تكاد تماثل بالضبط تلك التى تنبأت بها نظرية نيوتن للجاذبية. على أنه فى حالة عطارد، حيث أنه أقرب الكواكب للشمس،



شكل ٩ ، ٢

فإنه يحس بأقوى تأثيرات الجاذبية، ويكون له فلك أميل للاستطالة، وتتنبأ النسبية العامة بأن المحور الطويل للاهليلج ينبغي أن يدور حول الشمس بمعدل يقرب من درجة واحدة كل عشرة آلاف سنة. ومع صغر هذا التأثير، فإنه قد لوحظ قبل ١٩١٥ وأفاد كواحد من أول الإثباتات لنظرية اينشتين. وفي السنوات الأخيرة تم قياس ما هو أصغر حتى من ذلك من انحرافات في أفلاك الكواكب الأخرى عن تنبؤات نيوتن وذلك باستخدام الرادار، ووجد أنها تتفق وتنبؤات النسبية العامة.

وأشعة الضوء أيضا لا بد من أن تتبع الجيوديسيات في المكان – الزمان. ومرة أخرى فحقيقة أن المكان منحنى تعنى أن الضوء لم يعد بعد ينتقل فيما يظهر في خطوط مستقيمة في المكان. وهكذا فإن النسبية العامة تتنبأ بأن الضوء ينبغي أن تقوّسه مجالات الجاذبية. وكمثل فإن النظرية تتنبأ بأن مخروطات الضوء للنقط القريبة من الشمس تكون مقوسة قليلا للداخل، بسبب كتلة الشمس. ويعني هذا أن الضوء الصادر من نجم بعيد والذي يتفق أن يمر على مقربة من الشمس سينحرف بزاوية صغيرة، فيجعل النجم يبدو في موقع مختلف للملاحظ على الأرض (شكل ٩ . ٢). وبالطبع، فلو كان الضوء من النجم يمر دائما بالقرب من الشمس فإننا لن نتمكن من معرفة إذا كان الضوء قد انحرف، أو أن النجم بدلا من ذلك هو حقيقة حيث نراه. على أنه إذ تدور الأرض حول الشمس، تبدو النجوم المختلفة مارة من خلف الشمس ويصبح ضوؤها منحرفا. هكذا فإنها تغير من موقعها الظاهري بالنسبة للنجوم الأخرى.

وفي الظروف الطبيعية يصعب جدا رؤية هذا التأثير، لأن الضوء الآتي من الشمس يجعل من المستحيل ملاحظة النجوم التي تظهر في السماء بالقرب من الشمس. على أنه يمكن القيام بذلك أثناء كسوف الشمس، عندما يتم اعتراض ضوء الشمس كلية بواسطة القمر. ولم يكن من الممكن اختبار تنبؤ إينشتين بإنحراف الضوء في سنة ١٩١٥ في التو، ذلك أن الحرب العالمية الأولى كانت قائمة، فلم يتم ذلك حتى ١٩١٩ عندما قامت بعثة بريطانية برصد الكسوف من غرب أفريقيا، وبينت أن الضوء ينحرف حقا بواسطة الشمس، تماما مثلما تنبأت به النظرية. وهذا البرهان على نظرية ألمانية بواسطة علماء بريطانيين كان مما رُحب به كعمل عظيم للتوفيق بين البلدين بعد الحرب. وإنه إذن لما يثير السخرية، أن الفحص اللاحق للصور الفوتغرافية التي التقطتها البعثة قد بين أن ثمة أخطاء عظيمة عظم التأثير الذي كانت تحاول قياسه. وقد كان في القياس محض حظ، أو هي حالة من معرفة النتيجة التي يريدون الحصول عليها، وهو حدث ليس بغير الشائع في العلم. على أن إنحراف الضوء تم إثباته بدقة بعدد من المشاهدات اللاحقة.

وأحد التنبؤات الأخرى للنسبية العامة هي أن الزمان ينبغي أن يبدو وهو يمضي بسرعة أقل

وهو بالقرب من جسم ضخم كالأرض. وسبب ذلك أن هناك علاقة بين طاقة الضوء وتردده (أى عدد موجات الضوء فى كل ثانية): فكلما زادت الطاقة، علا التردد. وإذ ينتقل الضوء لأعلى فى مجال جاذبية الأرض، فإنه يفقد طاقة، وهكذا فإن تردده ينخفض. (ويعنى هذا أن طول الزمن بين ذروة أحد الموجات والذروة التالية سيزيد). وبالنسبة لأحد الأفراد فى الأعالى، سيبدو له أن كل شئ فى أسفل يستغرق وقتا أطول حتى يحدث. وقد اختبرت هذه النبوءة فى ١٩٦٢، باستخدام ساعتين دقيقتين جدا ثبتتا فى قمة وقاع برج ماء*. وقد وجد أن الساعة التى عند القاع، أى الأقرب للأرض، تدور بسرعة أبطأ، بما يتفق بالضبط مع النسبية العامة. والفارق بين سرعة الساعتين على الارتفاعات المختلفة فوق الأرض له الآن أهمية تطبيقية لها قدرها، بحلول نظم الملاحة، بالغة الدقة، التى تتأسس على الإشارات المرسلة من الأقمار الصناعية. ولو تجاهل المرء تنبؤات النسبية العامة، فإن الموقع الذى يحسبه سيكون فيه خطأ بأميال عديدة!

لقد وضعت قوانين نيوتن للحركة النهاية لفكرة الموضع المطلق فى المكان. وتخلصت نظرية النسبية من الزمان المطلق. هيا ننظر الآن أمر توأمين. هب أن أحد التوأمين ذهب ليعيش على قمة جبل بينما بقى الآخر على مستوى سطح البحر. إن التوأم الأول سيزيد سنّه بسرعة أكبر من الثانى. وهكذا، فلو التقيا ثانية، فإن أحدهما سيكون أكبر سنا من الآخر. وفى هذه الحالة، سيكون فارق السن ضئيلا جدا، إلا أنه سيكون أكبر كثيرا لو أن أحد التوائم مضى فى رحلة طويلة فى مركب فضاء بسرعة تقارب سرعة الضوء. فهو عندما يعود، سيكون عمره أصغر كثيرا عن التوأم الذى بقى على الأرض. ويعرف هذا باسم مفارقة التوائم، ولكنها مفارقة فقط إذا كان المرء ما زال يحتفظ بفكرة الزمان المطلق فى خلفية ذهنه. وفى نظرية النسبية ليس ثمة زمان مطلق فريد، وإنما بدلا من ذلك يكون لكل فرد مقياسه الزمانى الشخصى الخاص به الذى يعتمد على مكان وجوده وكيفية تحركه.

وقبل ١٩١٥، كان يعتقد أن المكان والزمان كملعب ثابت تجرى فيه الأحداث، ولكنه لا يتأثر بما يقع فيه. وكان هذا يصدق حتى على نظرية النسبية الخاصة. فالأجسام تتحرك، والقوى تجذب وتتنافر، ولكن الزمان والمكان هما ببساطة مستمران بلا تأثر. وكان من الطبيعى الاعتقاد بأن المكان والزمان يستمران للأبد.

على أن الموقف يصبح مختلفا تماما فى نظرية النسبية العامة. فالمكان والزمان هما الآن كمان ديناميكيان: وعندما يتحرك أحد الأجسام، أو تعمل إحدى القوى، فإن ذلك يؤثر فى منحنى

---

* water tower أنبوبة أو برج رأسى لخزن ما يكفى من الماء على ارتفاع كاف لحفظ ضغط معين.

المكان والزمان – وبالتالى فإن بنية المكان – الزمان تؤثر فى الطريقة التى تتحرك بها الأجسام وتعمل بها القوى. والمكان والزمان ليسا فحسب مؤثرين بل هما أيضا يتأثران بكل ما يحدث فى الكون. وكما أن المرء لا يستطيع أن يتحدث عن أحداث فى الكون دون فكرتى المكان والزمان، فإنه يماثل ذلك تماما أنه قد أصبح مما لا معنى له فى النسبية العامة أن نتحدث عن المكان والزمان خارج حدود الكون.

وكان من اللازم فى العقود التالية أن يثّور هذا الفهم الجديد للمكان والزمان من نظرتنا للكون. والفكرة القديمة عن كون لا يتغير أساسا يمكن أن يكون قد وجد، ويمكن أن يستمر فى الوجود، حلت مكانها نهائيا نظرية عن كون متمدد ديناميكى يبدو أنه قد بدأ منذ وقت متناهى، وقد ينتهى عند وقت متناهٍ فى المستقبل. وتشكل هذه الثورة موضوع الفصل القادم. وقد أصبح ذلك أيضا فى السنوات اللاحقة، نقطة البدء لبحثى فى الفيزياء النظرية. وقد بينت أنا وروجر بنروز أن نظرية إينشتين للنسبية العامة تدل على أن الكون لا بد وأن له بداية، وربما تكون له نهاية.



٣

الكون المتمدد

لو نظر المرء إلى السماء ذات ليلة صافية بلا قمر، فلعل أشد ما يراه سطوعا هو كواكب الزهرة والمريخ والمشترى وزحل. وسيكون هناك أيضا عدد كبير جدا من النجوم هى بالضبط مثل شمسنا إلا أنها أبعد منها كثيرا عنا. وبعض هذه النجوم الثابتة يبدو فى الحقيقة أنها فعلا تغير بقدر بسيط جدا مواقعها أحدها بالنسبة للآخر إذ تدور الأرض حول الشمس: فهى فى الواقع ليست مطلقا ثابتة! وسبب ذلك أنها قريبة منا نسبيا. وإذ تدور الأرض حول الشمس، فإننا نرى هذه النجوم من مواضع مختلفة قبالة خلفية من النجوم الأكثر بعدا. وهذا من حسن الحظ، لأن هذا يمكننا من أن نقيس مباشرة مسافة هذه النجوم منا : وكلما زادت النجوم قربا بدا أنها تتحرك أكثر. وأقرب نجم، المسمى القنطورس الأدنى، قد وجد أنه يبعد بحوالى أربع سنوات ضوئية (يستغرق الضوء الخارج منه حوالى أربع سنوات للوصول إلى الأرض)، أو بحوالى ثلاثة وعشرين مليون مليون ميلا. ومعظم النجوم الأخرى التى يمكن رؤيتها بالعين المجردة تبعد عنا بمسافة فى حدود مئات معدودة من السنين الضوئية. وللمقارنة فإن شمسنا هى على بعد مجرد ثمانى دقائق ضوئية! والنجوم المرئية تظهر منتشرة عبر سماء الليل كلها، ولكنها تتركز بالذات فى حزمة واحدة نسميها درب التبانة. ومنذ زمن طويل يصل إلى عام ١٧٥٠، اقترح بعض علماء الفلك أنه يمكن تفسير مظهر درب التبانة إذا كانت معظم النجوم المرئية تقع فى شكل واحد يشبه القرص، هو أحد أمثلة ما نسميه الآن المجرة اللولبية. وبعد عقود معدودة فحسب، أثبت عالم الفلك سير وليام هرتشل فكرته هذه بأن صنف بمجهود مثابر مواقع وأبعاد أعداد هائلة من النجوم: وحتى مع هذا فإن الفكرة لم تكتسب قبولا كاملا إلا فى أوائل هذا القرن.

وصورتنا الحديثة عن الكون يرجع تاريخها فقط إلى ١٩٢٤، عندما برهن عالم الفلك الأمريكى إدوين هابل على أن مجرتنا ليست المجرة الوحيدة. والحقيقة أن هناك مجرات كثيرة أخرى، بينها قطع فسيحة من فضاء خاوٍ، وحتى يثبت ذلك فإنه احتاج إلى تحديد المسافات إلى

هذه المجرات الأخرى، وهى بعيدة جدا بحيث أنها بخلاف النجوم القريبة تبدو فى الواقع ثابتة فعلا. واضطر هابل بسبب ذلك إلى استخدام وسائل غير مباشرة لقياس المسافات. والآن، فإن النصوع الظاهرى لنجم ما يعتمد على عاملين: قدر الضوء الذى يشعه (ضياؤه) luminosity، وقدر بعده عنا. وبالنسبة للنجوم القريبة، فإننا نستطيع قياس نصوعها الظاهرى وبعدها، وهكذا يمكننا حساب ضيائها. وبالعكس، لو عرفنا ضياء النجوم فى المجرات الأخرى، فإنه يمكننا حساب مسافة بعدها بقياس نصوعها الظاهرى. وقد لاحظ هابل أن أنواعا معينة من النجوم لها دائما نفس الضياء عندما تكون على مسافة قريبة منا بما يكفى لقياسها؛ وإذن فإنه يحاج بأننا لو وجدنا نجوما كهذه فى مجرة أخرى، فإننا يمكننا افتراض أن لها نفس الضياء – وبذا نحسب مسافة تلك المجرة. وإذا أمكننا فعل ذلك بالنسبة إلى عدد من النجوم فى نفس المجرة، وأعطتنا حساباتنا دائما نفس المسافة، فإنه يمكننا أن نثق إلى حد ما فى تقديرنا.

وبهذه الطريقة قام هابل بحساب المسافات إلى تسع مجرات مختلفة. ونحن نعرف الآن أن مجرتنا ليست إلا واحدة من مجرات يناهز عددها مائة ألف مليون مما يمكن رؤيته باستخدام التليسكوبات الحديثة، وكل مجرة بذاتها تحوى ما يناهز مائة ألف مليون نجم. ويبين شكل ١ . ٣ صورة مجرة لولبية، تشبه ما نظن أن مجرتنا يجب أن تبدو عليه بالنسبة لشخص يعيش فى مجرة أخرى. ونحن نعيش فى مجرة يقرب اتساعها من مائة ألف سنة ضوئية، وتدور ببطء، والنجوم فى أذرعها اللولبية تدور حول مركزها بمعدل يقرب من دورة كل عدة مئات الملايين من السنين. وشمسنا هى فحسب نجم أصفر عادى ذى حجم متوسط على مقربة من الحرف الداخلى لأحد الأذرع اللولبية. وهكذا، فنحن بلا شك قد قطعنا طريقا طويلا منذ أرسطو وبطليموس، عندما كنا نظن أن الأرض هى مركز الكون!

والنجوم يبلغ من بعدها أنها تبدو لنا وكأنها فقط نقط دقيقة من الضوء. فنحن لا نستطيع رؤية حجمها أو شكلها. وإذن فكيف نستطيع تمييز الأنواع المختلفة من النجوم ؟ إن الأغلبية العظمى من النجوم لها ملمح واحد متميز يمكننا ملاحظته – هو لون ضوءها. وقد اكتشف نيوتن أنه إذا مر الضوء الآتى من الشمس خلال قطعة من الزجاج مثلثة الشكل، تسمى المنشور، فإنه ينقسم إلى ألوانه المكونة له (طيفه) كما فى قوس قزح. وإذا ضبطنا بؤرة تليسكوب على نجم مفرد أو مجرة مفردة، فإن المرء يستطيع بالمثل أن يرصد طيف الضوء الآتى من النجم أو المجرة. والنجوم المختلفة لها أطياف مختلفة، ولكن النصوع النسبى للألوان المختلفة هو دائما بالضبط ما يتوقع المرء أن يجده فى ضوء ينبعث عن شئ يتوهج محمرا بالحرارة. (الحقيقة أن الضوء الذى ينبعث عن أى شئ معتم يتوهج محمرا بالحرارة يكون له طيف متميز يعتمد فقط على درجة حرارته – طيف

حراري. ويعنى هذا أننا يمكننا أن نعرف درجة حرارة النجم من طيف ضوءه). وفوق ذلك، فإننا نجد أن بعض الألوان الخاصة جدا تغيب عن أطياف النجوم، وهذه الألوان الغائبة قد تتباين من نجم لآخر. ولما كنا نعرف أن كل عنصر كيماوى يمتص مجموعة مميزة من الألوان الخاصة جدا، فإنه بمضاهاة هذه مع تلك الغائبة من طيف أحد النجوم، يمكننا أن نحدد بالضبط أى العناصر تكون موجودة في جو النجم.

وعندما بدأ علماء الفلك ينظرون إلى أطياف النجوم فى المجرات الأخرى فى العشرينيات من هذا القرن، وجدوا أمرا فى منتهى الغرابة : فقد كان هناك نفس المجموعات المميزة من الألوان الغائبة كما بالنسبة للنجوم فى مجرتنا نفسها، ولكنه كانت جميعا مزاحة بنفس القدر النسبى تجاه الطرف الأحمر من الطيف. ولنفهم مغزى ذلك، ينبغى أولا أن نفهم ظاهرة دوبلر (Doppler effect) . كما قد رأينا، فإن الضوء المرئى يتكون من تذبذبات، أو موجات، فى المجال الكهرومغنطى. وتردد الضوء (أو عدد موجاته فى كل ثانية) هو تردد عالى لأقصى علو يتراوح من أربعمائة إلى سبعمائة مليون مليون موجة فى الثانية. وترددات الضوء المختلفة هى ما تراه الأعين البشرية كألوان مختلفة، حيث تظهر أدنى الترددات عند الطرف الأحمر من الطيف وأعلاها عند الطرف الأزرق. والآن، تخيل مصدر ضوء على مسافة ثابتة منا، مثل أحد النجوم، وهو يبعث موجات ضوء ذات تردد ثابت. من الواضح أن تردد الموجات التى نتلقاها سيكون مماثلا للتردد الذى تنبعث به (لن يكون مجال جاذبية المجرة كبيرا بما يكفى لأن يكون له تأثير ذى أهمية). هب الآن أن مصدر الضوء بدأ يتحرك تجاهنا. عندما يبعث المصدر ذروة الموجة التالية فإنه سيكون أقرب لنا، وهكذا فإن الوقت الذى تستغرقه ذروة الموجة التالية حتى تصل إلينا سيكون أقل مما تستغرقه فيما لو كان النجم ثابتا. ويعنى هذا أن الوقت بين ذروتى الموجتين الواصلتين إلينا سيكون أقصر، وبالتالى فإن عدد الموجات التى نتلقاها فى كل ثانية (أى التردد) يكون أعلى مما لو كان النجم ثابتا. وبالمقابل، إذا كان المصدر يتحرك بعيدا عنا، فإن تردد الموجات التى نتلقاها سيكون أدنى. وفى حالة الضوء إذن، سيعنى هذا أن النجوم التى تتحرك بعيدا عنا ستكون أطيافها مزاحة تجاه الطرف الأحمر من الطيف (إزاحة حمراء) والنجوم التى تتحرك تجاهنا ستكون أطيافها مزاحة للأزرق. وهذه العلاقة بين التردد والسرعة، والتى تسمى ظاهرة دوبلر، هى من خبرات الحياة اليومية. استمع إلى عربة تمر على الطريق : أثناء اقتراب العربة، يكون صوت محركها عالى الطبقة (موافقا للتردد العالى لموجات الصوت)، وعندما تمر العربة ثم تولى مبتعدة فإن صوتها يكون منخفض الطبقة. وسلوك موجات الضوء أو الراديو مماثل. والحقيقة أن الشرطة تستفيد من ظاهرة دوبلر لقياس سرعة

السيارات، بأن تقيس تردد نبضات موجات الراديو المنعكسة عن السيارات.

وفى السنوات التى تلت إثبات هابل لوجود مجرات أخرى، أنفق هابل وقته فى تصنيف مسافاتها ورصد أطيافها. وكان معظم الناس فى ذلك الوقت يتوقعون أن المجرات تتحرك فيما حولها حركة عشوائية تماما، وهكذا فإنهم توقعوا أن يجدوا عدد الأطياف ذات الإزاحة الزرقاء مساوية لتلك ذات الإزاحة الحمراء. وإذن فقد كان من المفاجئ تماما أن نجد أن معظم المجرات ذات إزاحة حمراء: فكلها تقريبا تتحرك بعيدا عنا! بل والأكثر مفاجأة اكتشاف هابل الذى نشر فى ١٩٢٩: فحتى حجم الإزاحة الحمراء لمجرة ما لم يكن عشوائيا، ولكنه يتناسب طرديا مع بعد المجرة عنا. أو بكلمات أخرى، كلما زادت المجرة بعدا، زادت سرعة تحركها بعيدا! وهذا يعنى أن الكون لا يمكن أن يكون استاتيكيا، كما كان كل واحد يظن فيما سبق، وإنما هو فى الحقيقة يتمدد؛ والمسافة بين المجرات المختلفة تزيد طول الوقت.

واكتشاف أن الكون يتمدد هو إحدى الثورات الثقافية العظيمة فى القرن العشرين. وبالتأمل وراءً، فإن من السهل التعجب لأن أحدا لم يفكر فى ذلك من قبل: فقد كان ينبغى على نيوتن وغيره أن يتبينوا أن كونا ستاتيكيا لن يلبث أن يبدأ سريعا فى الانكماش بتأثير الجاذبية. ولكن لنفرض بدلا من ذلك أن الكون يتمدد. فلو كان يتمدد بسرعة بطيئة إلى حد ما، فإن قوة الجاذبية ستجعله فى النهاية يتوقف عن التمدد ليبدأ بعدها فى الانكماش. أما إذا كان يتمدد بسرعة أكبر من معدل حرج معين، فإن الجاذبية لن تكون قط قوية بما يكفى لوقف تمدده، وسوف يستمر الكون فى التمدد للأبد. وهذا يشبه، نوعا، ما يحدث عندما يطلق أحدهم من فوق سطح الأرض صاروخا لأعلى. فإذا كانت سرعته بطيئة إلى حد ما، فإن الجاذبية ستوقف الصاروخ فى النهاية وسيبدأ فى السقوط عائدا. ومن الجهة الأخرى، إذا كانت سرعة الصاروخ أكبر من سرعة حرجة معينة (حوالى سبعة أميال فى الثانية) فإن الجاذبية لا تكون قوية بما يكفى لشده إلى الوراء، وهكذا فإنه سيستمر فى الانطلاق بعيدا عن الأرض إلى الأبد. وسلوك الكون هكذا كان يمكن التنبؤ به من نظرية نيوتن عن الجاذبية فى أى وقت من القرن التاسع عشر، أو الثامن عشر أو حتى أواخر القرن السابع عشر. إلا أن الإيمان بثبات الكون كان من القوة بحيث ظل باقيا لأوائل القرن العشرين. وحتى إينشتين عندما صاغ نظرية النسبية العامة فى ١٩١٥، فإنه كان واثقا من أن الكون يجب أن يكون استاتيكيا حتى أنه عدّل نظريته ليصبح ذلك ممكنا، فأدخل فى معادلاته ما سماه «الثابت الكونى». وقد أدخل إينشتين قوة جديدة هى «مضاد الجاذبية»، وهى بخلاف القوى الأخرى لا تأتى من أى مصدر معين، وإنما هى جبلية فى صميم بنية المكان – الزمان. وزعم أن المكان – الزمان لديه نزعة جبلية للتمدد وأنها يمكن أن تُجعل بحيث توازن بالضبط تجاذب كل المادة التى فى الكون، بحيث

ينتج كون استاتيكى. ويبدو أنه لم يكن هناك غير رجل واحد يريد أن يفهم النسبية العامة حسب معناها الظاهر، وبينما كان اينشتين وعلماء الفيزياء الآخرون يبحثون عن طرق لمفاداة ما تتنبأ به النسبية العامة من كون غير استاتيكى، فإن الفيزيائى والرياضى الروسى الكسندر فريدمان أخذ بدلا من ذلك يفسر الأمر.

افترض فريدمان فرضين بسيطين جدا عن الكون : أن الكون يبدو متماثلا فى أى اتجاه ننظر فيه إليه، وأن هذا يصدق أيضا لو راقبنا الكون من أى مكان آخر. ومن هاتين الفكرتين وحدهما، بين فريدمان أننا ينبغى ألا نتوقع أن يكون الكون ثابتا. والحقيقة أن فريدمان تنبأ فى ١٩٢٢ بما وجده ادوين هابل بالضبط، وذلك قبل اكتشاف هابل بعدة أعوام!

ومن الواضح أن افتراض أن الكون يبدو متماثلا فى كل اتجاه هو فى الواقع غير حقيقى. فكما رأينا مثلا، فإن النجوم الأخرى فى مجرتنا تشكل حزمة واضحة من الضوء عبر سماء الليل، تسمى درب التبانة. على أننا إذا نظرنا إلى المجرات البعيدة، فسوف يبدو أن لها عدد متماثل بدرجة أو أخرى. وهكذا فإن الكون يبدو فعلا متماثلا على وجه التقريب فى كل اتجاه، بشرط أن ينظر المرء إليه على مقياس كبير بما يقارن بالمسافة بين المجرات، ويتجاهل ما يوجد من اختلافات على المقاييس الأصغر. وقد ظل هذا لزمن طويل مبررا كافيا لفرض فريدمان – بما هو شبه تقريب للكون الواقعى. على أنه حدث مؤخرا أن كشف حادث محظوظ عن حقيقة أن فرض فريدمان هو فى الحقيقة توصيف لكوننا مضبوط إلى حد رائع.

ففى عام ١٩٦٥ كان أرنو بنزياس وروبرت ويلسون الفيزيائيان الأمريكيان بمعامل تليفون بل فى نيوجيرسى، يقومان باختبار كشّاف حساس جدا لموجات الميكرويف (موجات الميكرويف هى تماما مثل موجات الضوء ولكن درجة ترددها هى فقط عشرة آلاف مليون موجة فى الثانية). وقد انزعج بنزياس ويلسون حينما وجدا أن كشافهما يلتقط ضوضاء أكثر مما ينبغى. ولم يكن يبدو أن الضوضاء تأتى من أى اتجاه بعينه. واكتشفا أول الأمر روث طيور فى كشافهما ثم اختبراه لأى أسباب أخرى لسوء الأداء، ولكنهما سرعان ما استبعدوا كل هذا. وكانا يعرفان أن أى ضوضاء تأتى من داخل الغلاف الجوى ستكون أقوى عندما يكون الكشاف غير موجه مباشرة لأعلى مما كان عليه، ذلك أن أشعة الضوء عند تلقّيها من قرب الأفق تكون قد تحركت خلال الغلاف الجوى لمسافة أكبر كثيرا مما عند تلقّيها مباشرة من فوق الرأس. وكانت الضوضاء الزائدة متماثلة أينما كان الاتجاه الذى يشير إليه الكشاف، وهكذا فإنها ولا بد تأتى من «خارج» الغلاف الجوى. وكانت الضوضاء أيضا متماثلة نهارا وليلا وخلال السنة كلها، رغم دوران الأرض حول محورها ودورانها حول الشمس. وهذا يبين أن الإشعاع أت ولا بد من وراء النظام الشمسى، بل ومن وراء المجرة، وإلا

فإنه كان سيتغير عندما توجه حركة الأرض الكشاف في اتجاهات مختلفة. والحقيقة أننا نعرف أن هذا الإشعاع لا بد وأنه انتقل إلينا عبر معظم الكون القابل للرصد، ولما كان يبدو متماثلا في الاتجاهات المختلفة فإن الكون أيضا ولا بد متماثل في كل اتجاه، وذلك فقط على المقياس الكبير. ونحن نعرف الآن أنه أيا كان الاتجاه الذى ننظر إليه، فإن هذه الضوضاء لا تتغير أبدا بأكثر من جزء من العشرة آلاف – وهكذا فإن بنزياس وويلسون قد عثرا عن غير عمد على إثبات صحيح بصورة رائعة لفرض فريدمان الأول.

وفى نفس الوقت تقريبا كان الفيزيائيان الأمريكيان بوب ديك وجيم بيبلز، فى جامعة برنستون القريبة، يبديان اهتماما بموجات الميكرويف. وكانا يبحثان فرضا لجورج جاموف (الذى كان فيما مضى طالبا لالكسندر فريدمان)، بأن الكون المبكر لا بد وأنه كان بالغ السخونة والكثافة، وأنه كان يتوهج بالحرارة حتى البياض. وقد حاج ديك وبيبلز بأنه ينبغى أن يكون فى إمكاننا حتى الآن رؤية وهج الكون المبكر، لأن الضوء الآتى من أجزائه البعيدة جدا سيصلنا الآن فقط وحسب. على أن تمدد الكون يعنى أن هذا الضوء ينبغى أن يكون ذى إزاحة حمراء إلى حد عظيم بحيث أنه سيظهر لنا الآن كإشعاع من موجات الميكرويف. وكان ديك وبيبلز يتأهبان للبحث عن هذا الإشعاع عندما سمع بنزياس وويلسون عن بحثهما فتبينا أنهما قد عثرا عليه بالفعل. وقد كوفئ بنزياس وويلسون على ذلك بجائزة نوبل فى ١٩٧٨ (مما يبدو صعبا بعض الشئ على ديك وبيبلز، دع عنك جاموف!).

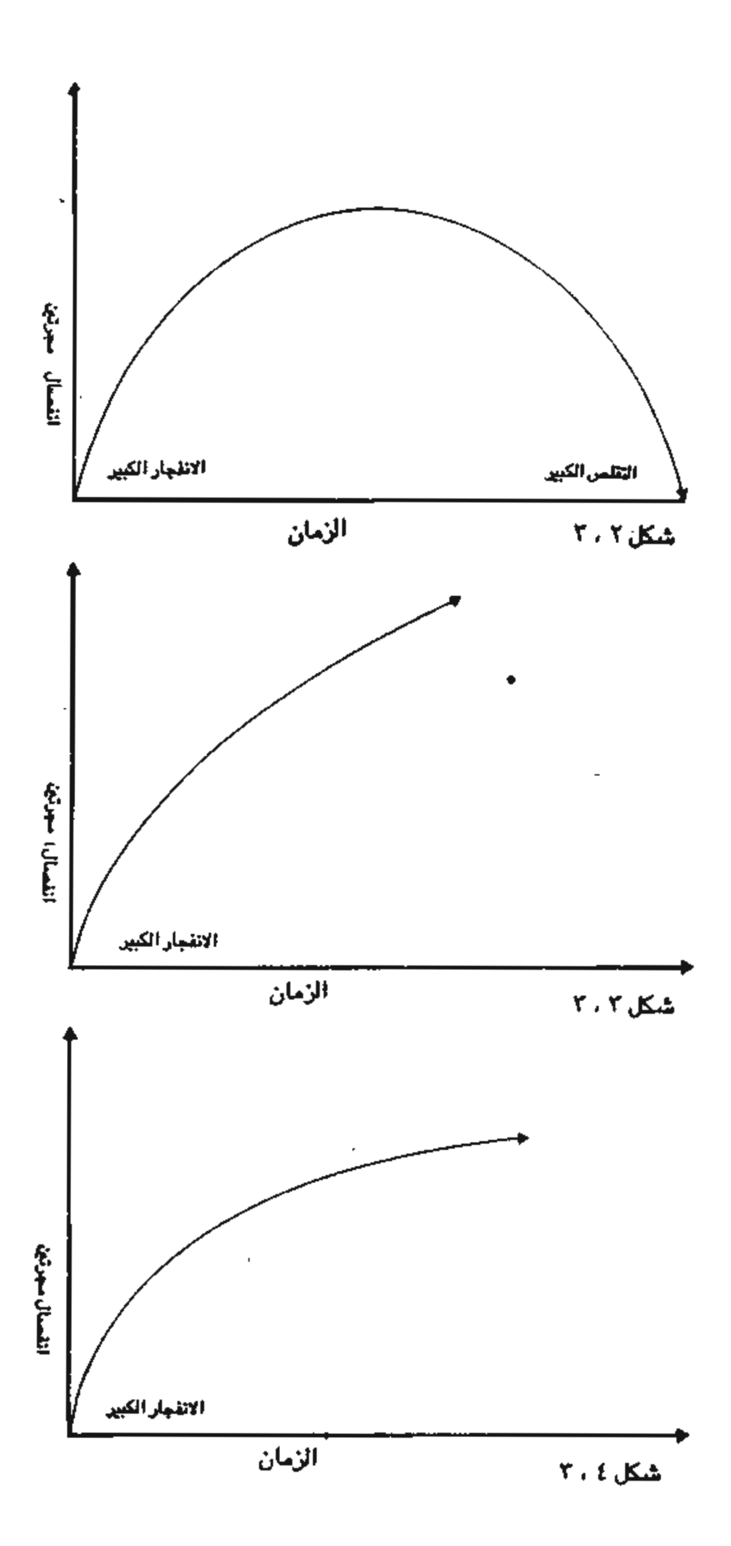
والآن، فللوهلة الأولى فإن كل هذا الدليل على أن الكون يبدو متماثلا مهما كان الاتجاه الذى ننظر فيه قد يبدو وكأنه يطرح أن هناك شيئا ما خاصا فيما يتعلق بمكانتنا فى الكون. وقد يبدو بالذات، أننا عندما نلاحظ أن كل المجرات الأخرى تتحرك بعيدا عنا، فإننا إذن ولا بد فى مركز الكون. على أن هناك تفسيرا بديلا : فقد يبدو الكون متماثلا فى كل اتجه إذا نظرنا إليه أيضا من أى مجرة أخرى. وهذا، كما قد رأينا، هو فرض فريدمان الثانى. وليس لدينا دليل علمى يؤكد هذا الفرض أو ينفيه. ونحن نؤمن به وحسب على أسس من التواضع: كم سيكون الأمر بالغ الروعة لو كان الكون يبدو متماثلا فى كل اتجاه من حولنا، ولكن ليس من حول النقاط الأخرى فى الكون! وفى نموذج فريدمان، تتحرك كل المجرات مباشرة إحداها بعيدا عن الأخرى. والموقف يكاد يشبه بالونة قد نثر عليها عدد من البقع، وهى تنفخ بإطراد. وإذ تتمدد البالونة، فإن المسافة بين أى بقعتين تتزايد، ولكن ما من بقعة يمكن القول بأنها مركز التمدد. وفوق ذلك، فكلما تباعدت البقع، زادت سرعة تحركها فى تباعد. وبالمثل فإنه فى نموذج فريدمان تكون السرعة التى تتحرك بها أى مجرتين فى تباعد متناسبة مع المسافة بينهما. وهكذا فإنه يتنبأ بأن الإزاحة الحمراء لإحدى

المجرات ينبغي أن تتناسب طرديا مع مسافة المجرة منا، وهو ما وجده هابل بالضبط. ورغم نجاح نموذج فريدمان وتنبؤه بمشاهدات هابل، فإن عمل فريدمان ظل مجهولا على نطاق واسع في الغرب حتى تم اكتشاف نماذج مماثلة عام ١٩٣٥ بواسطة الفيزيائي الأمريكي هوارد روبرتسون والرياضي البريطاني أرثر ووكر، كرد فعل لاكتشاف هابل أن الكون يتمدد تمددا متسقا.

ورغم أن فريدمان اكتشف فقط نموذجا واحدا، فإن هناك في الحقيقة ثلاثة أنواع مختلفة من النماذج تخضع لفرضي فريدمان الأساسيين. وفي النوع الأول (الذي اكتشفه فريدمان) يتمدد الكون بسرعة بطيئة بما يكفي لأن يسبب شد الجاذبية بين المجرات المختلفة إبطاء التمدد حتى يتوقف في النهاية. ثم تبدأ المجرات في التحرك إحداها نحو الأخرى وينكمش الكون. وشكل ٣،٢ يبين كيف تتغير المسافة بين مجرتين متجاورتين كلما طال الزمن. وتبدأ المسافة بصفر، وتزيد لتصل إلى حد أقصى، ثم تتقلص إلى الصفر ثانية. وفي النوع الثاني من الحلول، يتمدد الكون بسرعة بحيث أن شد الجاذبية لا يستطيع قط إيقاف التمدد، وإن كان فعلا يبطئه نوعا. وشكل ٣.٣ يبين التباعد بين المجرات المتجاورة في هذا النموذج. وهو يبدأ عند الصفر وفي النهاية تتحرك المجرات متباعدة بسرعة مطردة. وأخيرا فهناك نوع ثالث من الحلول، يتمدد فيه الكون بسرعة تكفي فقط لتجنب العودة إلى التقلص. وفي هذه الحالة فإن التباعد كما يبينه شكل ٣.٤ يبدأ أيضا بصفر ثم يتزايد أبدا. على أن السرعة التي تتحرك بها المجرات متباعدة تصبح أصغر وأصغر، وإن كانت لا تصل قط إلى الصفر تماما.

ومن الملامح البارزة للنوع الأول من نموذج فريدمان أن الكون ليس باللامتناهي في المكان، على أن المكان ليس له أي حد. فالجاذبية يبلغ من قوتها أن ينحني المكان على نفسه، بما يجعله يشبه نوعا سطح الأرض. وعندما يداوم المرء على التحرك في اتجاه معين على سطح الأرض، فإنه لا يلقى إزاءه قط عقبة من حاجز لا يمكن المرور منه، ولا يهوي من فوق حرف، وإنما هو يصل ثانية إلى حيث بدأ. وفي نموذج فريدمان الأول، فإن المكان يشبه ذلك تماما، ولكنه بثلاثة أبعاد بدلا من بعدين كما لسطح الأرض. والبعد الرابع، الزمان، هو أيضا متناه في مداه، ولكنه يشبه خطا له طرفان أو حدان، بداية ونهاية. وسوف نرى فيما بعد أنه عندما يجمع المرء النسبية العامة مع مبدأ عدم اليقين في ميكانيكا الكم، يصبح من الممكن لكل من المكان والزمان أن يكونا متناهيين دون أي أحرف أو حدود.

وفكرة أن المرء يمكن أن يدور مباشرة حول الكون لينتهي إلى حيث بدأ فيها ما يصلح لرؤية علمية جيدة، ولكن ليس لها دلالة عملية كبيرة، لأن من الممكن إيضاح أن الكون سيتقلص ثانية إلى حجم الصفر قبل أن يتمكن المرء من الدوران حوله. وسوف تحتاج إلى أن تنتقل بسرعة أسرع من



شكل ٢ ، ٣

شكل ٣ ، ٣

شكل ٤ ، ٣

الضوء حتى تصل إلى حيث بدأت قبل أن يأتي الكون إلى نهايته - وهذا ليس مسموحا به!

وفى النوع الأول من نموذج فريدمان، الذى يتمدد ثم يتقلص ثانية، يكون المكان منحنيا على نفسه، مثل سطح الأرض. وبهذا فإنه متناه فى مداه. وفى النوع الثانى من النموذج كالذى يتمدد إلى الأبد، فإن المكان ينحنى للناحية الأخرى، مثل سطح السرج. وفى هذه الحالة، يكون المكان إذن غير متناه. وأخيرا، فى النوع الثالث من نموذج، فريدمان، الذى تكون سرعته فى التمدد هى السرعة الحرجة بالضبط، فإن المكان يكون مسطحا (وإذن فهو أيضا لا متناه).

ولكن أى نماذج فريدمان هو الذى يوصّف كوننا؟ هل سيتوقف الكون في النهاية عن التمدد ويبدأ فى الانكماش، أو هل سيتمدد إلى الأبد ؟ للإجابة عن هذا السؤال نحتاج إلى أن نعرف سرعة تمدد الكون الحالية، ومتوسط كثافته الحالية. فإذا كانت الكثافة أقل من قدر حرج معين، يتحدد بمعدل التمدد، فإن شد الجاذبية سيكون أضعف من أن يوقف التمدد. وإذا كانت الكثافة أكبر من القدر الحرج، فإن الجاذبية سوف توقف التمدد فى وقت ما فى المستقبل وتسبب تقلص الكون ثانية.

ونحن نستطيع تحديد المعدل الحالى للتمدد بقياس السرعات التى تتحرك بها المجرات الأخرى مبتعدة عنا، مستخدمين ظاهرة دوبلر. ويمكن إنجاز ذلك على نحو دقيق جدا. على أن المسافات بين المجرات ليست معروفة على نحو جيد جدا لأننا لا نستطيع قياسها إلا بطرق غير مباشرة. وهكذا فإن كل ما نعرفه هو أن الكون يتمدد بما يتراوح بين ٥-١٠ فى المائة فى كل ألف مليون سنة. على أن ما لدينا من عدم يقين بشأن متوسط كثافة الكون حاليا لهو الأعظم. وإذا جمعنا كتل كل النجوم التى يمكننا رؤيتها فى مجرتنا والمجرات الأخرى، فإن المجموع يقل عن واحد فى المائة من القدر المطلوب لإيقاف تمدد الكون، حتى بالنسبة لأدنى تقدير لسرعة التمدد. على أن مجرتنا والمجرات الأخرى تحوى ولا بد قدرا كبيرا من «المادة المظلمة»، التى لا يمكننا رؤيتها مباشرة، وإنما نعرف أنها يجب أن تكون موجودة بسبب تأثير شد جاذبيتها على أفلاك النجوم فى المجرات. وبالإضافة، فإن معظم المجرات توجد فى تجمعات عنقودية، ويمكننا بالمثل استنتاج وجود مزيد من المادة المظلمة فيما بين المجرات التى فى هذه العناقيد، وذلك بواسطة تأثيرها على حركة المجرات. وإذا جمعنا كل هذه المادة المظلمة فإننا لا نحصل بعد إلا على حوالى عُشْر القدر المطلوب لوقف التمدد. على أننا لا نستطيع استبعاد إمكانية وجود شكل آخر للمادة، يتوزع بما يكاد يكون توزيعا متسقا على الكون كله، شكل لم نكتشفه بعد هو مع ذلك مما قد يرفع متوسط كثافة الكون إلى القيمة الحرجة اللازمة لإيقاف التمدد. وإذن فإن ما لدينا الآن من دليل يدل على أن الكون ربما سوف يتمدد إلى الأبد، إلا أن كل ما يمكننا الوثوق منه حقا هو أنه حتى لو كان

الكون سيتقلص ثانية، فإنه لن يفعل ذلك لمدة تصل على الأقل إلى عشرة آلاف مليون سنة أخرى، حيث أنه ظل يتمدد من قبل لزمن يبلغ على الأقل هذا الطول. وينبغى ألا يزعجنا ذلك بغير داع: فبعد مرور هذا الوقت، ما لم نكن قد استعمرنا ما وراء النظام الشمسى، فإن الجنس البشرى سيكون قد فنى منذ زمن طويل، إذ يندثر مع شمسنا!

وكل حلول فريدمان فيها الملمح بأنه فى وقت ما من الماضى (منذ ما بين عشرة إلى عشرين ألف مليون سنة) كانت المسافة بين المجرات المتجاورة هى ولا بد صفرا. وفى هذا الوقت، الذى نسميه الانفجار الكبير، كانت كثافة الكون ومنحنى المكان - الزمان لا متناهيين. ولما كانت الرياضيات لا تستطيع فى الواقع تناول الأرقام اللانهائية، فإن هذا يعنى أن نظرية النسبية العامة (التى تأسست عليها حلول فريدمان) تتنبأ بأن ثمة نقطة فى الكون تنهار عندها النظرية نفسها. وهذه النقطة هى مثل لما يسميه الرياضيون بالمفردة Singularity. والحقيقة أن كل نظرياتنا العلمية قد صيغت على فرض أن الزمان - المكان مستوٍ ويكاد يكون مسطحاً، وهكذا فإنها تنهار عند مفردة الانفجار الكبير، حيث يكون منحنى المكان - الزمان لا متناه. ويعنى هذا أنه حتى لو كانت هناك أحداث قبل الانفجار الكبير، فإن المرء لا يستطيع استخدامها لتحديد ما سيحدث بعدها، لأن القدرة على التنبؤ تنهار عند الانفجار الكبير. وبالمقابل، إذا كنا نعرف فقط، كما هو الحال فعلا، ما قد حدث منذ الانفجار الكبير، فإننا لا نستطيع أن نحدد ما حدث قبل ذلك. وبقدر ما يخصنا، فإذا الأحداث قبل الانفجار الكبير لا يمكن أن يكون لها نتائج، وهكذا فإنها ينبغى ألا تشكل جزءا من أى نموذج علمى عن الكون. وإنن ينبغى أن نحذفها من النموذج ونقول إن الزمان له بداية عند الانفجار الكبير.

وثمة أناس كثيرون لا يحبذّون فكرة أن الزمان له بداية، وربما كان ذلك لأن فيها مجالا لتدخل ميتافيزيقى. وهكذا كان هناك عدد من المحاولات لتجنب استنتاج أنه كان ثمة انفجار كبير. وكان الاقتراح الذى حاز أوسع تأييد هو ما يسمى نظرية استقرار الحال. وقد طرحها فى ١٩٤٨ أثنان من اللاجئين من النمسا أثناء احتلال النازيين لها، وهما هرمان بوندى وتوماس جولد ومعهما البريطانى فريد هويل، الذى كان يعمل معهما على إنشاء الرادار أثناء الحرب. والفكرة هى أنه أثناء تحرك المجرات مبتعدة إحداها عن الأخرى، تتكون باستمرار مجرات جديدة فى الفراغات التى بينها، وذلك من مادة جديدة تُخلق باستمرار. وهكذا فإن الكون سيبدو تقريبا متماثلا فى كل الأوقات وعند كل نقط المكان. وقد تطلبت نظرية استقرار الحال تعديلا للنسبية العامة حتى تسمح بخلق متواصل للمادة، إلا أن المعدل المستخدم هو من البطء (حوالى جسيم لكل كيلو متر مكعب لكل سنة) بحيث أنه لا يتعارض والتجربة. وكانت هذه نظرية علمية جيدة، بالمعنى الذى وصفناه فى

الفصل الأول : فهى بسيطة وتقدم تنبؤات محددة يمكن اختبارها بالمشاهدة. وإحدى هذه التنبؤات هي أن عدد المجرات أو الأشياء المماثلة في أي حجم معين من الفضاء ينبغي أن يكون نفس العدد في أي مكان وأي زمان ننظر فيه للكون. وفي أواخر الخمسينيات وأوائل الستينيات من هذا القرن، تم في كمبردج مسح لمصادر موجات الراديو من الفضاء الخارجي بواسطة مجموعة من الفلكيين يقودهم مارتن رايل (الذي عمل أيضا مع بوندي على الرادار أثناء الحرب، هو وجولد، وهويل). وبينت مجموعة كمبردج أن معظم مصادر الراديو هذه لا بد وأن تقع خارج مجرتنا (والحقيقة أن الكثير منها أمكن تطابقه على المجرات الأخرى). وأنه أيضا يوجد من المصادر الضعيفة ما هو أكثر كثيرا من المصادر القوية. وقد فسروا المصادر الضعيفة بأنها الأكثر بعدا، والقوية بأنها الأقرب. ثم بدا أنه بالنسبة لكل وحدة حجم من الفضاء تكون المصادر القريبة أقل شيوعا من البعيدة. وهذا يمكن أن يعني أننا في المركز من منطقة هائلة من الكون المصادر فيها أقل مما في أي مكان آخر. وبدلا من ذلك فإنه يمكن أن يعني أنه في الماضي وقت أن رحلت موجات الراديو في طريقها إلينا، كانت المصادر أكثر عددا مما هي عليه الآن. وأي من التفسيرين يتناقض وتنبؤات نظرية الحال المستقر. وبالإضافة، فإن اكتشاف إشعاع موجات الميكروويف بواسطة بنزياس وويلسون في ١٩٦٥ قد بين أيضا أن الكون كان ولا بد أكثف كثيرا في الماضي. وهكذا لزم أن تُنبذ نظرية الحال المستقر.

وفي عام ١٩٦٣ قام العالمان الروسيان إفجيني ليفشتز وإسحق خالاتنكوف بمحاولة أخرى لتجنب استنتاج أنه لا بد وأن كان هناك انفجار كبير، وبالتالي بداية للزمان. وقد اقترحا أن الانفجار الكبير قد يكون خاصية لنماذج فريدمان وحدها، التي هي رغم كل شئ مجرد تقريبات للكون الحقيقي. ولعل الأمر أنه من بين كل النماذج التي تشبه بالتقريب الكون الحقيقي، فإن نماذج فريدمان وحدها هي التي تحوي مفردة الانفجار الكبير. والمجرات في نماذج فريدمان تتحرك كلها وإحداها تتباعد عن الأخرى مباشرة - وإذن فليس غريبا أنها في وقت ما من الماضي كانت كلها في نفس المكان. على أن المجرات في الكون الحقيقي تتحرك ليس فحسب للتباعد مباشرة إحداها عن الأخرى - وإنما لها أيضا سرعات صغيرة جانبية. وهكذا فإنها في الواقع لا يلزمها قط أن تكون كلها في نفس المكان بالضبط، وإنما هي فحسب تتقارب معا تقاربا وثيقا. وإذن فإن الكون الذي يتمدد حاليا ربما نتج لا عن مفردة انفجار كبير وإنما عن طور انكماش أقدم؛ وأثناء تقلص الكون فلعل ما فيه من جسيمات لم تتصادم قط، وإنما انسابت أحدها عبر الآخر ثم بعيدا عنه، لتحدث التمدد الحالي في الكون. كيف إذن يمكننا أن نعرف ما إذا كان ينبغي أن الكون الحقيقي قد بدأ بانفجار كبير ؟ إن ما فعله ليفشتز وخالاتنكوف هو أنهما درسا نماذج للكون تشبه تقريبا

نماذج فريدمان ولكنها تأخذ فى الحسبان أوجه عدم انتظام المجرات والعشوائية فى سرعاتها فى الكون الحقيقى. وقد بينا أن نماذج كهذه يمكن أن تبدأ بانفجار كبير، حتى وإن كانت المجرات لا تتحرك بعد دائما للتباعد إحداها مباشرة عن الأخرى، إلا أنهما زعما أن هذا يبقى ممكنا فحسب فى نماذج استثنائية معينة حيث المجرات كلها تتحرك بالطريقة الصحيحة بالضبط . وقد احتجا بأنه حيث يبدو أن هناك عددا من النماذج المشابهة لنماذج فريدمان من غير مفردة الانفجار الكبير هو عدد أكبر بما لا نهاية له من النماذج ذات الانفجار، فإنه ينبغى أن نستنتج أنه لم يكن فى الواقع ثمة انفجار كبير. على أنهما تبينا فيما بعد أن هناك انتشارا أوسع كثيرا للنماذج الشبيهة بنماذج فريدمان التى فيها مفردات بالفعل، والتى ليس على المجرات فيها أن تتحرك بأى أسلوب خاص، وهكذا فإنهما سحبا زعمهما فى ١٩٧٠.

وبحث ليفشتز وخالاتنكوف كان له قيمته لأنه بيَّن أن الكون «يمكن» أن تكون له مفردة، هى الانفجار الكبير، إذا كانت نظرية النسبية العامة صحيحة. إلا أن هذا البحث لم يصل إلى حل السؤال العويص : هل تتنبأ النسبية العامة بأنه «ينبغى» أن يكون لكوننا انفجار كبير، بداية للزمن؟ وقد أتت الإجابة عن ذلك من تناول مختلف تماما أدخله فى عام ١٩٦٥ الرياضى والفيزيائى البريطانى روجر بنروز. فهو باستخدام الطريقة التى تسلك بها مخروطات الضوء فى النسبية العامة مع حقيقة أن الجاذبية دائما تجذب، قد بين أن النجم الذى يتقلص بتأثير جاذبيته هو نفسه، ينحصر فى منطقة ينكمش سطحها فى النهاية إلى حجم الصفر. ولما كان سطح المنطقة ينكمش إلى الصفر، فإن حجمها أيضا لا بد أن ينكمش هكذا. وتصبح كل المادة التى فى النجم مضغوطة فى منطقة حجمها صفرا، وهكذا فإن كثافة المادة ومنحنى المكان – الزمان يصبحان لا متناهيين. وبكلمات أخرى يكون عند المرء مفردة محتواة من داخل منطقة من المكان – الزمان تعرف بالثقب الأسود.

ولأول وهلة ، فإن نتيجة بنروز تنطبق فقط على النجوم؛ فهى لا تقول شيئا عن مسألة إذا كان الكون بأكمله مفردة انفجار كبير فى ماضيه. على أنه فى الوقت الذى أنتج فيه بنروز نظريته، كنت أنا طالب بحث أنقب يائسا عن مشكلة أكمل بها مبحثى لدكتوراه الفلسفة. وكنت قبل عامين قد شُخصت على أنى أعانى من ضمور العضلات بالتليف الجانبى، الذى يعرف فى الشائع باسم مرض لوجيريج، أو مرض العصبة الحركية، وأُفهمت أنى سأعيش لما لا يزيد عن عام أو عامين. وفى ظروف كهذه لم يكن يبدو أن هناك فائدة كبيرة فى العمل فى بحثى للدكتوراه – فما كنت أتوقع أنى سأبقى حيا لزمن يطول هكذا. على أنه مر عامان ولم أصبح أسوأ حالا بكثير. والحقيقة أن الأمور كانت تسير بما يكاد يكون سيرا حسنا بالنسبة لى. وتمت خطبتى إلى فتاة فاضلة جدا، هى جين

وايلد. ولكنى حتى أنال الزواج كنت فى حاجة إلى وظيفة، وحتى أنال الوظيفة كنت فى حاجة إلى الدكتوراه.

وفى ١٩٦٥ قرأت عن نظرية بنروز من أن أى جسم يخضع للتقلص بالجانبية يجب فى النهاية أن يكوّن مفردة. وسرعان ما تبينت أن المرء لو عكس اتجاه الزمان فى نظرية بنروز، بحيث يصبح التقلص تمددا، فإن شروط نظريته تظل صالحة، بفرض أن الكون مشابه بالتقريب لنموذج فريدمان بالمقاييس الكبيرة فى الوقت الحالى. ونظرية بنروز قد بينت أن أى نجم يتقلص «يجب» أن ينتهى بمفردة؛ ومحاجة الزمن المعكوس تبين أن أى كون متمدد مشابه لكون فريدمان «يجب» أن يكون قد بدأ بمفردة. ولأسباب تقنية، تتطلب نظرية بنروز أن يكون الكون لا متناهيا فى المكان. وهكذا فقد أمكننى فى الحقيقة استخدامها لإثبات أن المفردة لا تكون مما ينبغى إلا لو كان الكون يتمدد بالسرعة الكافية لتجنب تقلصه ثانية (حيث أن هذا النوع من نماذج فريدمان هو الوحيد اللامتناهى فى المكان).

وأثناء السنوات القليلة التالية أنشأت تقنيات رياضية جديدة لأتغلب على هذا هو وغيره من الشروط التقنية فى النظريات التى تثبت أن المفردات يجب أن تقع. وكانت النتيجة النهائية هى ورقة بحث مشتركة - لبنروز ولى فى عام ١٩٧٠، أثبتت فى النهاية أنه لا بد من أن مفردة انفجار كبير كانت موجودة، وذلك مشروط فقط بأن تكون النسبية العامة صحيحة وأن يحوى الكون من المادة قدر ما نلاحظ . وكان ثمة معارضة كثيرة لبحثنا، كانت فى جزء منها من الروس بسبب إيمانهم الماركسى بالحتمية العلمية، وفى جزء آخر من أناس يحسون أن فكرة المفردات كلها فكرة منفرة تفسد جمال نظرية إينشتين. على أن الواحد لا يستطيع حقا أن يجادل نظرية رياضية. وهكذا فإن عملنا أصبح فى النهاية مقبولا بصورة عامة وأصبح كل فرد تقريبا فى يومنا هذا يفترض أن الكون قد بدأ بمفردة انفجار كبير. ولعل مما يثير السخرية أننى وقد غيرت رأى، فإنى أحاول الآن إقناع الفيزيائيين الآخرين بأنه لم يكن هناك فى الحقيقة مفردة عند بدأ الكون - وكما سنرى فيما يلى، فإن المفردة يمكن أن تختفى ما إن تؤخذ تأثيرات الكم فى الحسبان.

ها قد رأينا فى هذا الفصل، كيف تغيرت فى أقل من نصف القرن نظرة الإنسان للكون التى تكونت عبر آلاف السنين. إن اكتشاف هابل أن الكون يتمدد، وتبيُّن عدم أهمية كوكبنا فى الكون الفسيح، كانا فقط نقطة البداية. ومع تراكم الدليل التجريبى والنظرى، أصبح من الواضح أكثر وأكثر أن الكون له لا بد بداية فى الزمان، حتى تمت البرهنة على ذلك نهائيا فى ١٩٧٠ بواسطة بنروز وإياى، على أساس نظرية إينشتين للنسبية العامة. وقد بين هذا البرهان أن النسبية العامة هى وحسب نظرية منقوصة : فهى لا تستطيع أن تخبرنا بكيفية ابتداء الكون، لأنها تتنبأ بأن

كل النظريات الفيزيائية، بما فيها هي ذاتها، تنهار عند بدء الكون. على أن النسبية العامة تعلن أنها مجرد نظرية جزئية، وهكذا فإن ما تظهره في الحقيقة نظريات المفردة أنه لا بد وأن كان هناك وقت للكون المبكر جدا كان الكون فيه صغيرا جدا، بحيث أن المرء لا يستطيع بعد أن يتجاهل تأثيرات المقاييس الصغيرة لنظرية ميكانيكا الكم، وهي النظرية الجزئية العظيمة الأخرى في القرن العشرين. وهكذا أجبرنا مع بداية السبعينيات على أن نحول بحثنا عن فهم للكون من نظريتنا عما هو كبير إلى حد خارق إلى نظريتنا عما هو دقيق الصغر إلى حد خارق. وهذه النظرية، ميكانيكا الكم سيتم توصيفها فيما يلي، قبل أن نحول جهودنا إلى جمع النظريتين الجزئيتين في نظرية واحدة لكم الجاذبية.



٤

مبدأ عدم اليقين

كان من نجاح النظريات العلمية، وخاصة نظرية نيوتن عن الجاذبية، أن أدى ذلك بالعالم الفرنسي الماركيز لابلاس إلى أن يحاج في بداية القرن التاسع عشر بأن الكون محتم بالكامل. واقترح لابلاس أنه ينبغي أن يكون ثمة مجموعة من القوانين التي تسمح لنا بالتنبؤ بأي شيء سيحدث في الكون، لو أننا فقط عرفنا الحالة الكاملة للكون عند وقت معين. وكمثل، فلو عرفنا مواضع وسرعات الشمس والكواكب عند وقت معين، فسنتمكن إذن من استخدام قوانين نيوتن لحساب حالة النظام الشمسي في أي وقت آخر. وتبدو الحتمية في هذه الحالة واضحة نوعا، ولكن لابلاس يمضي لأبعد مفترضا أن ثمة قوانين مشابهة تحكم كل شيء آخر بما فيه سلوك الإنسان.

ومذهب الحتمية العلمية قاومه الكثيرون بشدة ممن أحسوا أنه يتعدى على الحرية الإلهية في التدخل في العالم، على أن المذهب ظل هو الفرض العلمي القياسي حتى السنوات الأولى من هذا القرن. وأتى أحد أول المؤشرات على وجوب التخلي عن هذه العقيدة عندما بينت الحسابات التي قام بها العالمان البريطانيان لورد رايلي وسير جينس أن الشيء أو الجسم الساخن من مثل النجم، يجب أن يشع الطاقة بمعدل لا متناه. وحسب القوانين التي كنا نؤمن بها آنذاك، فإن الجسم الساخن ينبغي أن يبعث موجات كهرومغنطية (مثل موجات الراديو، أو الضوء المرئي، أو أشعة إكس) بقدر متساو عند كل الترددات. وكمثل، فإن الجسم الساخن ينبغي أن يشع قدر الطاقة نفسه في الموجات التي يكون ترددها بين مليون مليون ومليوني مليون موجة في الثانية، مثلما يشعه في الموجات التي يكون ترددها بين مليوني مليون وثلاثة مليون مليون موجة في الثانية. والآن، فحيث أن عددالموجات في الثانية غير محدود، فإن هذا سيعني أن الطاقة الكلية التي تُشع ستكون لا متناهية.

وحتى يمكن تجنب هذه النتيجة المضحكة بصورة واضحة، اقترح العالم الألماني ماكس بلانك

فى ١٩٠٠ أن الضوء، وأشعة إكس والموجات الأخرى لا يمكن أن تُبث بمعدل تعسفى، وإنما هى تُبث فقط فى حزمات معينة أسماها الكمأت. وفوق ذلك فإن كل كم له قدر معين من الطاقة يكون أعظم كلما علا تردد الموجات، وهكذا فإنه عند علو التردد بما يكفى فإن بث كم واحد سوف يتطلب طاقة أكبر مما كان متاحا. وهكذا فإن الإشعاع عند الترددات العالية سوف يقل، وهكذا فإن المعدل الذى يفقد به الجسم الطاقة سيكون متناهيا.

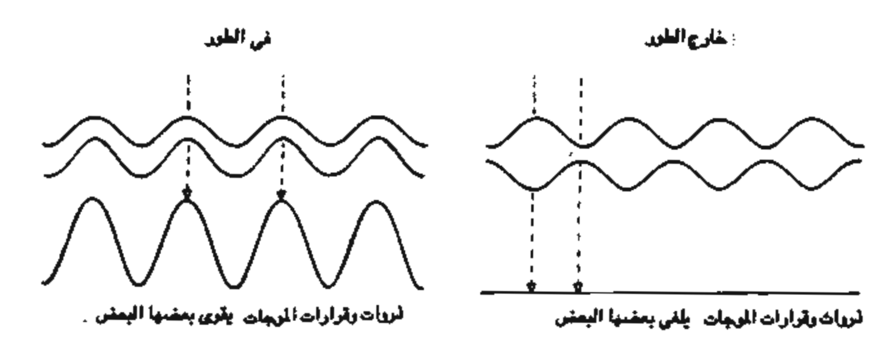
وفرض الكم قد فسر المعدل الملاحظ لبث الإشعاع من الأجسام الساخنة تفسيرا جيدا جدا، على أنه لم يتم تبين دلالاته بالنسبة للحتمية حتى ١٩٢٦، عندما قام عالم ألمانى آخر، هو فرنر هايزنبرج بصياغة مبدأه الشهير لعدم اليقين. فحتى يتنبأ المرء بموضع جسيم وسرعته فى المستقبل، يكون على المرء أن يتمكن من قياس موضعه وسرعته الحاليين بدقة. والطريقة الواضحة لفعل ذلك هى بتسليط ضوء على الجسيم. وسوف تتشتت بعض موجات الضوء بواسطة الجسيم وسيدل هذا على موضعه. على أن المرء لن يستطيع أن يحدد موضع الجسيم بما هو أدق من المسافة بين ذروات موجات الضوء، وهكذا فإن المرء يحتاج إلى استخدام ضوء له طول موجة قصير حتى يقيس موضع الجسيم بدقة. والآن، فإنه حسب فرض كم بلانك، لا يستطيع المرء استخدام قدر من الضوء يكون صغيرا على نحو تعسفى؛ فعلى المرء أن يستخدم على الأقل كماً واحدا. وهذا الكم سيجعل الجسيم يضطرب ويغيرّ من سرعته بطريقة لا يمكن التنبؤ بها. وفوق ذلك فكلما زادت الدقة التى يقيس بها المرء الموضع، قَصُرَ طولُ موجة الضوء التى يحتاجها المرء وبالتالى زادت طاقة الكم المفرد. وهكذا فإن سرعة الجسيم ستضطرب بقدر أكبر. وبكلمات أخرى كلما زادت دقة محاولتك لقياس موضع الجسيم قَلَّت الدقة التى تقيس بها سرعته، والعكس بالعكس. وبيّن هايزنبرج أن عدم اليقين فى موضع الجسيم مضروبا فى عدم اليقين فى سرعته مضروبا فى كتلته لا يمكن أن يكون أصغر من قدر معين، يعرف باسم ثابت بلانك. وفوق ذلك فإن هذا الحد لا يعتمد على الطريقة التى يحاول بها المرء قياس موضع أو سرعة الجسيم، ولا على نوع الجسيم : فمبدأ عدم اليقين عند هايزنبرج هو خاصية أساسية للعالم لا مفر منها.

ومبدأ عدم اليقين له دلالات عميقة بالنسبة للطريقة التى نرى بها العالم. وحتى بعد أكثر من خمسين عاما فإن الكثيرين من الفلاسفة لم يقدروا بعد هذه الدلالات حق قدرها، وهى ما زالت موضع الكثير من الخلاف. وقد أعطى مبدأ عدم اليقين الإشارة لنهاية حلم لابلاس بنظرية علمية، أو نموذج للكون يكون حتميا بالكلية: ومن المؤكد أن المرء لا يستطيع التنبؤ بأحداث المستقبل بالضبط ما دام لا يستطيع حتى أن يقيس بدقة الوضع الحالى للكون! وقد أدى هذا التناول إلى أن قام هايزنبرج، وإروين شرودنجر، وبول ديراك فى العشرينيات من هذا القرن بإعادة صياغة الميكانيكا

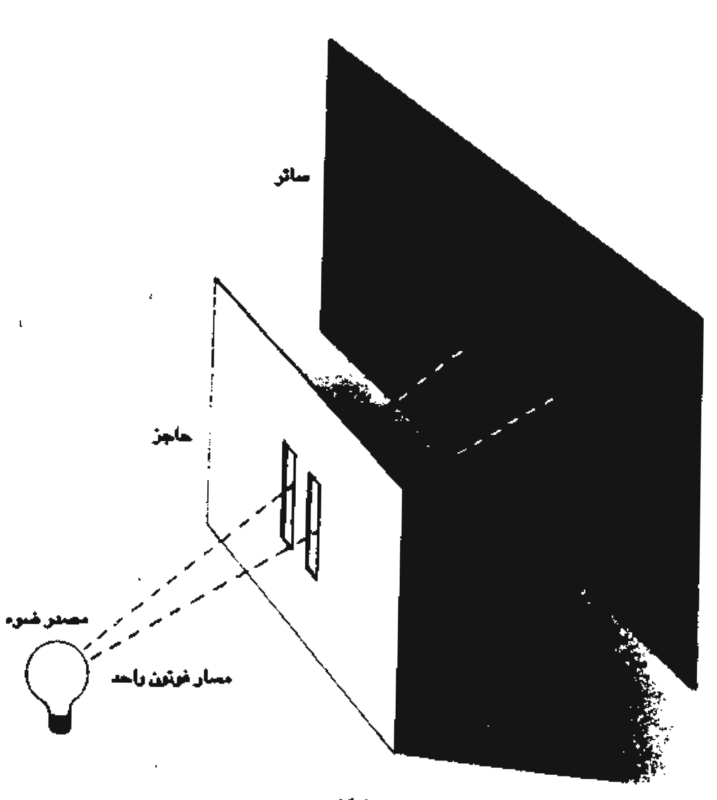
فى نظرية جديدة سميت ميكانيكا ألكم، تتأسس على مبدأ عدم اليقين. والجسيمات فى هذه النظرية لم يعد لديها بعد مواضع وسرعات منفصلة واضحة التحدد لا يمكن ملاحظتها. وبدلا من ذلك فإن لديها حالة كم، هى توليفة من الموضع والسرعة.

وعموما، فإن ميكانيكا الكم لا تتنبأ بنتيجة وحيدة محددة لمشاهدة ما. وبدلا من ذلك فإنها تتنبأ بعدد من النتائج الممكنة المختلفة وتخبرنا بمدى احتمال كل واحدة منها. بمعنى، أنه إذا قام المرء بالقياس نفسه على عدد كبير من أنسقة متماثلة، كل منها قد بدأ منطلقا بالطريقة نفسها، فسيجد المرء أن نتيجة القياس تكون أ فى عدد معين من الحالات، و ب فى عدد مختلف وهلم جرا. ويمكن للمرء أن يتنبأ بالعدد التقريبى للمرات التى تكون النتيجة فيها أ أو ب، ولكن لا يمكن للمرء أن يتنبأ بنتيجة محددة لقياس فردى. فميكانيكا الكم تُدخل إذن فى العلم عنصرا لا يمكن تجنبه من العشوائية أو عدم إمكان التنبؤ. وقد عارض إينشتين هذا معارضة قوية جدا، رغم الدور المهم الذى قام به فى نشأة هذه الأفكار. وقد مُنح إينشتين جائزة نوبل لمساهمته فى نظرية الكم. ومع هذا فإن إينيشتين لم يتقبل قط أن يكون الكون محكوما بالصدفة. على أن معظم العلماء كانوا على استعداد لتقبل ميكانيكا الكم لأنها تتفق تماما مع التجربة. والحقيقة أنها نظرية ناجحة على نحو رائع وهى تدخل فى أساس كل العلم والتكنولوجيا الحديثة تقريبا. وهى تتحكم فى سلوك الترانزستور والدوائر المتكاملة، تلك العناصر الرئيسية فى الأدوات الألكترونية مثل التليفزيونات والكمبيوترات، وهى أيضا أساس الكيمياء والبيولوجيا الحديثين. والمجالات الوحيدة فى العلم الفيزيائى التى لم تُدمج بعد فيها ميكانيا الكم على نحو لائق هى الجاذبية وبنية الكون بالمقياس الكبير.

ورغم أن الضوء مصنوع من موجات، إلا أن فرض كم بلانك يخبرنا أنه من بعض الوجوه يسلك وكأنه مكّون من جسيمات : فهو يُبعث أو يُمتص فقط فى حزمات، أو كّمات. وبالمثل، فإن مبدأ عدم اليقين عند هايزنبرج يدل عى أن الجسيمات تسلك من بعض الوجوه مثل الموجات : فليس لها موضع محدد، وإنما هى «تنفرش» بتوزيع له احتمال معين. ونظرية ميكانيكا الكم قد تأسست على نوع جديد بالكلية من الرياضيايات لم يعد بعد يوصّف العالم الحقيقى بحدود من الجسيمات والموجات؛ فمشاهدات العالم هى وحدها التى قد تُوصف بهذه الحدود. وهكذا فإن ثمة ازدواجية بين الموجات والجسيمات فى ميكانيكا الكم: فمن المفيد لأغراض معينة تصور الجسيمات كموجات ولأغراض أخرى يكون من الأفضل تصور الموجات كجسيمات. وإحدى النتائج المهمة لذلك هى أن المرء يستطيع أن يلاحظ ما يسمى بالتداخل بين مجموعتين من الموجات أو الجسيمات. أى أن ذروات مجموعة من الموجات قد تتطابق مع قرارات مجموعة أخرى. وهكذا فإن مجموعتى الموجات ستلغى إحداها الأخرى، بدلا من أن تتضايف إلى موجة أقوى كما قد يتوقع المرء (شكل ١ . ٤).



شكل ١ ، ٤



شكل ٢ ، ٤

ومن الأمثلة المألوفة للتداخل في حالة الضوء تلك الألوان التي كثيرا ما نراها في فقاعات الصابون. فهذه الألوان تنجم عن انعكاس الضوء من جانبي غشاء الماء الرقيق الذي يكون الفقاعة. والضوء الأبيض يتألف من موجات ضوء من كل الأطوال أو الألوان المختلفة. وبالنسبة لأطوال معينة

من الموجات فإن ذروات الموجات المنعكسة من أحد جانبي غشاء الصابون تتطابق مع قرارات الموجات المنعكسة من الجانب الآخر. وهكذا فإن الألوان المناظرة لهذه الأطوال تغيب عن الضوء المنعكس، وبهذا فإنه يبدو ملونا.

والتداخل يمكن أن يحدث أيضا للجسيمات، بسبب الازدواجية التي أدخلتها ميكانيكا الكم. وأحد الأمثلة الشهيرة لذلك هو ما يسمى بتجربة الشقين (شكل ٢، ٤). فلننظر في حاجز فيه شقان ضيقان متوازيان. وعلى أحد جانبي الحاجز يضع المرء مصدرا لضوء من لون معين (أي له طول موجة معين). سيصطدم معظم الضوء بالحاجز، إلا أن قدرا صغيرا سيمر من خلال الشقين. هب الآن أننا وضعنا ساترا على جانب الحاجز البعيد عن الضوء. إن أي نقطة على الساتر ستتلقى موجات من الشقين الاثنين. على أنه بصفة عامة، فإن المسافة التي يكون على الضوء أن يقطعها من المصدر حتى الساتر من خلال الشقين ستكون مسافة مختلفة. وسوف يعني هذا أن الموجات من الشقين لن تكون في نفس الطور الواحد عند وصول كل منها للساتر: ففي بعض الأماكن ستلغي الموجات بعضها البعض، وفي أماكن أخرى ستدعم إحداها الأخرى. والنتيجة هي نمط مميز من الضوء والحواف المظلمة.

والشئ الرائع أن المرء يصل بالضبط للنوع نفسه من الحواف لو وضع مكان مصدر الضوء مصدرا لجسيمات مثل الكترونات ذات سرعة محددة (ويعني هذا أن الموجات المناظرة لها طول محدد). والأمر يبدو أكثر غرابة لأننا عندما يكون هناك شق واحد فقط، لن ننال أي حواف، وإنما يكون هناك فقط توزيع متسق للإلكترونات على الساتر. وقد يظن المرء إذن أن فتح شق آخر سيؤدي فحسب إلى زيادة عدد الالكترونات التي تصطدم بكل نقطة على الساتر، ولكنه في الواقع يقلل العدد في بعض الأماكن بسبب التداخل. ولو كانت الالكترونات تُرسل من خلال الشقين بمعدل الكترون واحد في كل مرة، لتوقع المرء أن يمر الواحد منها من أحد الشقين أو الآخر، وهكذا يسلك كما لو كان الشق الذي مر من خلاله هو الشق الوحيد هناك – مما يعطي توزيعا متسقا على الساتر. على أن الحقيقة هي أنه حتى عندما تُرسل الالكترونات بمعدل واحد في كل مرة، فإن الحواف تظل تظهر. وإذن فإن كل الكترون يمر ولا بد من خلال «كلا» الشقين في نفس الوقت!

وظاهرة التداخل بين الجسيمات كانت حاسمة في فهمنا لتركيب الذرات، وهي الوحدات الأساسية للكيمياء والبيولوجيا ووحدات البناء التي صُنعنا منها نحن وكل شئ حولنا. وفي بداية هذا القرن كان يُعتقد أن الذرات تكاد تشبه الكواكب التي تدور حول الشمس، فالالكترونات (الجسيمات سالبة الكهرباء) تدور حول نواة مركزية، تحمل كهرباء موجبة. وكان يُفترض أن التجاذب بين الكهرباء الموجبة والسالبة يبقي الإلكترونات في مداراتها بنفس الطريقة التي يبقى بها

شد الجاذبية بين الشمس والكواكب على الكواكب فى مداراتها. والمشكلة فى هذا الأمر أن قوانين الميكانيكا والكهرباء، قبل ميكانيكا الكم، كانت تتنبأ بأن الإلكترونات سوف تفقد طاقة وهكذا فإنها ستتجه لولبيا للداخل حتى تصطدم بالنواة. وسوف يعنى هذا أن الذرة، بل وفى الحقيقة كل المادة، ينبغى أن تتقلص سريعا إلى حالة من كثافة عالية. جدا. وقد تم العثور على حل جزئى لذلك بواسطة العالم الدانمركى نيلز بوهر فى ١٩١٢. فقد اقترح أنه ربما يكون الأمر أن الالكترونات وحسب لا تستطيع الدوران عند أى مسافة من النواة المركزية وإنما تدور فقط عند مسافات معينة محددة. ولو فرضنا أيضا أن الكترونا واحدا أو اثنين فقط يستطيعان الدوران عند أى من هذه المسافات، فإن هذا يحل مشكلة تقلص الذرة، لأن هذه الالكترونات لن تستطيع التحرك لولبيا للداخل إلى أبعد مما تشغل به المدارات بأقل المسافات والطاقات.

وقد فسر هذا النموذج تفسيرا جيدا بنية أبسط ذرة، أى الهيدروجين، التى ليس لها إلا الكترون واحد يدور حول النواة. ولكن لم يكن من الواضح كيف ينبغى أن نمد ذلك إلى الذرات الأكثر تعقدا. وفوق ذلك فإن فكرة مجموعة محددة من المدارات المتاحة بدت فكرة تعسفية جدا. وقد حلت نظرية الكم الجديدة هذه الصعوبة. فقد كشفت عن أن الالكترون الذى يدور حول النواة يمكن تصوره على أنه موجة طولها يعتمد على سرعتها. وبالنسبة لبعض المدارات، يكون طول المدار مناظرا لعدد صحيح (فى مقابلة بالعدد المكسور) من موجات الالكترون. وبالنسبة لهذه المدارات، ستكون ذروة الموجة فى نفس الموضع مع كل دورة، وهكذا فإن الموجات تتضايف : وهذه المدارات هى ما يناظر مدارات بوهر المتاحة. على أنه بالنسبة للمدارات التى لا تكون أطوالها عددا صحيحا من أطوال الموجات، فإنه مع دوران الالكترونات ستصبح فى النهاية كل ذروة موجة ملغاة بقرار؛ فهذه مدارات لن تكون متاحة.

ومن الطرق البارعة لتصور ازدواجية الموجة / الجسيم ما يسمى حاصل جمع التواريخ sum over histories الذى أدخله العالم الأمريكى رتشارد فينمان. وفى هذا التناول لا يُفترض للجسيم تاريخ أو مسلك وحيد فى المكان - الزمان، كما يكون الحال فى نظرية كلاسيكية غير كمية. وبدلا من ذلك يفترض الذهاب من أ إلى ب بكل ما يحتمل من مسارات. وكل مسار يرتبط به رقمان : أحدهما يمثل حجم الموجة والآخر يمثل الموضع فى الدورة (أى ما إذا كان ذروة أو قرارا). واحتمال الذهاب من أ إلى ب يحسب بجمع موجات كل المسارات. وعموما فإنه إذا قارن المرء مجموعة من المسارات المتجاورة، فإن الأطوار أو المواضع فى الدورة ستختلف اختلافا عظيما. ويعنى هذا أن الموجات المرتبطة بهذه المسارات تكاد بالضبط أن تلغى إحداها الأخرى. على أنه بالنسبة لبعض مجموعات المسارات المتجاورة فإن الطور لن يختلف اختلافا كثيرا فيما بين

المسارات. والموجات بالنسبة لهذه المسارات لن يلغى بعضها البعض. وهذه المسارات تناظر مسارات بوهر المتاحة.

وبهذه الأفكار، في شكل رياضي متين، أمكن بصورة مباشرة نسبيا حساب المدارات المتاحة في الذرات الأكثر تعقدا، وحتى في الجزيئات التى تتكوّن من عدد من الذرات تمسكها معا الالكترونات التى تدور فى مدارات حول أكثر من نواة واحدة. ولما كانت بنية الجزيئات وتفاعلاتها أحدها مع الآخر هى فى أساس كل الكيمياء والبيولوجيا، فإن ميكانيكا الكم تتيح لنا من حيث المبدأ أن نتنبأ تقريبا بكل شئ نراه من حولنا، فى الحدود التى يفرضها مبدأ عدم اليقين. (على أنه وجد عند التطبيق أن الحسابات المطلوبة للنسق التى تحتوى على أكثر من الكترونات معدودة هى حسابات يبلغ من تعقدها أننا لا نستطيع القيام بها).

إن نظرية إينشتين للنسبية العامة تحكم فيما يبدو بنية الكون ذات المقياس الكبير. وهى ما يسمى بنظرية كلاسيكية؛ أى أنها لا تأخذ فى الحسبان مبدأ عدم اليقين لميكانيكا الكم، كما ينبغى أن تفعل بغرض التوافق مع النظريات الأخرى. والسبب فى أن هذا لم يؤدِّ إلى أى تعارض مع المشاهدة هو أن كل مجالات الجاذبية التى نخبرها طبيعيا هى مجالات ضعيفة جدا. على أن نظريات المفردة التى ناقشناها من قبل تدل على أن مجال الجاذبية ينبغى أن يصبح قويا جدا فى موقفين على الأقل، الثقوب السوداء والانفجار الكبير. وفى مثل هذه المجالات القوية ينبغى أن تكون تأثيرات ميكانيكا الكم أمرا مهمّا. وهكذا، فبمعنى ما، فإن النسبية العامة الكلاسيكية بتنبؤها بنقط ذات كثافة لا متناهية، تتنبأ بانهيارها هى نفسها، تماما مثلما تنبأت الميكانيكا الكلاسيكية (أى غير الكمية) بانهيارها باقتراح أن الذرات ينبغى أن تتقلص إلى كثافة لا متناهية. وليس لدينا بعد نظرية متماسكة كاملة توحد النسبية العامة وميكانيكا الكم، ولكننا نعرف بالفعل عددا من الملامح التى ينبغى أن تكون فيها. والنتائج التى ستحدثها هذه فى الثقوب السوداء والانفجار الكبير سيتم توصيفها فى الفصول القادمة. أما فى لحظتنا هذه، فسنوجه التفاتنا إلى المحاولات الحديثة التى بذلت حتى نضم معا فهمنا لقوى الطبيعة الأخرى، فى نظرية كم واحدة موحَّدة.



٥

الجسيمات الأولية وقوى الطبيعة

كان أرسطو يعتقد أن كل المادة التي في الكون تتكون من أربعة عناصر أولية: الأرض، والهواء، والنار، والماء. وهذه العناصر تؤثر فيها قوتان: الجاذبية، أي نزعة الأرض والماء إلى الهبوط، والخفة، أي نزعة الهواء والنار إلى الصعود. وهذا التقسيم لمحتويات الكون إلى مادة وقوى ما زال يستخدم حتى الآن.

وكان أرسطو يعتقد أن المادة متصلة، أي أن المرء يستطيع أن يقسم قطعة من المادة إلى أجزاء أصغر وأصغر بلا أي حد : ولا يمكن قط أن يواجه المرء حبة من المادة لا يمكن تقسيمها لأكثر. على أن قلة من الإغريق، مثل ديمقريطس، نادوا بأن المادة هي جبليا ذات حبيبات، وأن كل شئ قد صنع من عدد كبير من أصناف شتى مختلفة من الذرات. (وكلمة «ذرة» atom تعني في الإغريقية «غير القابل للانقسام»). وقد استمر الجدل لقرون دون أي برهان حقيقي في أي من الجانبين، إلا أن الكيميائي والفيزيائي البريطاني جون دالتون بين في ١٨٠٣ حقيقة أن المركبات الكيمياوية تتحد دائما بنسب معينة يمكن تفسيرها بتجمع الذرات معا لتشكل وحدات تسمى الجزيئات. على أن الجدل بين مدرستي الفكر لم يحسم نهائيا في صف الذريين حتى السنوات الأولى من هذا القرن. وقد قدم إينشتين أحد الأجزاء المهمة للبرهان الفيزيائي. فقد بين إينشتين في ورقة بحث كتبها ١٩٠٥، قبل ورقته الشهيرة عن النسبية الخاصة بأسابيع قليلة، أن ما يسمى بالحركة البراونية – أي الحركة العشوائية غير المنتظمة لجسيمات الغبار الصغيرة المعلقة في أحد السوائل – يمكن تفسيرها بأنها تأثير من ذرات السائل إذ تصطدم بجسيمات التراب.

وفي ذلك الوقت كان هناك بالفعل شكوك عن أن هذه الذرات هي – رغم كل شئ – ليست غير قابلة للانقسام. وقبل ذلك بعدة أعوام أثبت أحد زملاء كلية الثالوث في كمبردج وهو ج. ج. تومسون، وجود جسيم من المادة، يسمى الالكترون، له كتلة هي أقل من واحد من الألف من كتلة

أخف الذرات. وقد استخدم جهازا يشبه أنبوبة الصورة في التليفزيون الحديث : وكان هناك خيط معدني ساخن حتى الاحمرار يبعث الالكترونات، ولما كانت هذه ذات شحنة كهربية سالبة، فإنه يمكن استخدام مجال كهربي لتعجيلها في اتجاه حاجز مغطى بالفوسفور. وعندما تصطدم الالكترونات بالحاجز تتولد ومضات من الضوء . وسرعان ما تبين أن هذه الالكترونات لا بد وأنها تأتي من داخل الذرات نفسها، وفي النهاية أوضح الفيزيائي البريطاني إرنست روذرفورد في ١٩١١ أن ذرات المادة لها بالفعل بنية داخلية: فهي مصنوعة من نواة دقيقة الحجم للغاية ذات شحنة موجبة، يدور من حولها عدد من الالكترونات. وقد استنبط ذلك بتحليل الطريقة التي تنحرف بها جسيمات ألفا عندما تصطدم بالذرات، وهذه الجسيمات هي جسيمات ذات شحنة موجبة تنبعث من الذرات المشعة.

وفي أول الأمر كان يظن أن نواة الذرة مصنوعة من الالكترونات وأعداد مختلفة من جسيم ذي شحنة موجبة يسمى البروتون، وقد أخذ الاسم عن كلمة إغريقية تعني «الأول» لأنه كان يعتقد أنه الوحدة الأساسية التي صنعت منها المادة. على أن جيمس شادويك، أحد زملاء روزرفورد في كمبردج، اكتشف في ١٩٣٢ أن النواة تحوي جسيما آخر، يسمى النيوترون، وله تقريبا نفس كتلة البروتون ولكن ليس له شحنة كهربية. وقد نال شادويك جائزة نوبل عن اكتشافه، وانتخب مديرا لكلية جونفيل وكايوس بكمبردج (الكلية التي أعمل زميلا فيها الآن). وقد استقال فيما بعد من منصب المدير بسبب عدم الاتفاق مع الزملاء. وكان ثمة نزاع مرير في الكلية منذ أن قامت مجموعة من الزملاء الشبان العائدين بعد الحرب بالتصويت بإقصاء الكثيرين من الزملاء كبار السن عن مناصب الكلية التي شغلوها زمنا طويلا. وكان هذا قبل عهدي بالكلية؛ وقد التحقت بالكلية في ١٩٦٥ عند آخر طرف للمرارة، إذ أجبرت نزاعات مشابهة مديرا آخرا حائزا لجائزة نوبل على الاستقالة، وهو سير نيفل موت.

وحتى ما يقرب من عشرين سنة، كان يظن أن البروتونات والنيوترونات هي جسيمات «أولية»، إلا أن تجارب اصطدام البروتونات بسرعات كبيرة بالبروتونات الأخرى أو الالكترونات بينت أنها في الحقيقة قد صنعت من جسيمات أصغر. وقد سميت هذه الجسيمات الكواركات quarks وذلك بواسطة فيزيائي من معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا هو موارى جيل – مان؛ وقد فاز بجائزة نوبل في ١٩٦٩ لبحثه عليها. وأصل الاسم هو اقتباس مبهم عن جيمس جويس (الأديب الإيرلندي المشهور) ثلاثة كواركات للسيد مارك!». وكلمة «كوارك» يفترض أنها تنطق مثل كوارت quart ، ولكن بكاف في نهايتها بدلا من التاء، ولكنها عادة تنطق مقفاة مع لارك lark .

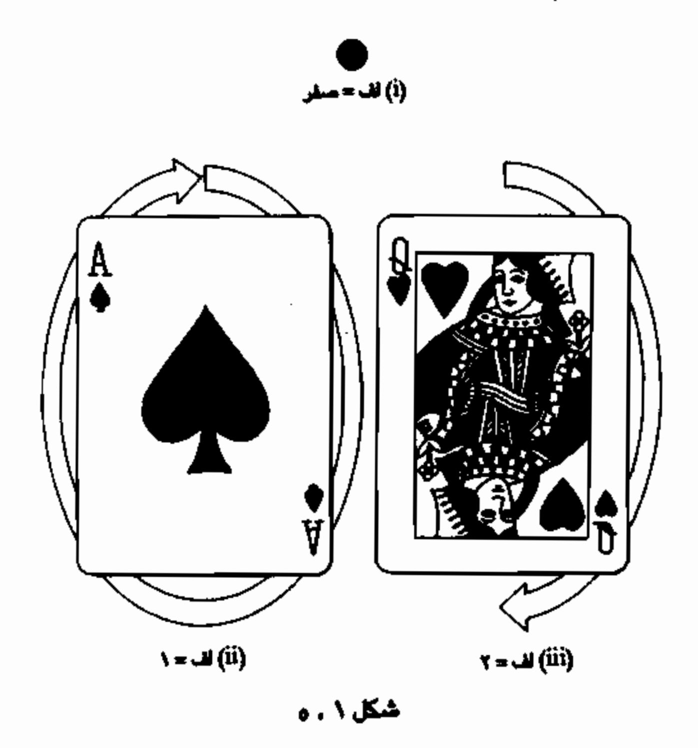
وثمة عدد من الأنواع المختلفة من الكواركات: ويعتقد أن هناك على الأقل ستة «نكهات»

Flavors تسمى واطى، وعالي، وغريب، وساحر، وقاع، وقمة. وكل نكهة تكون في ثلاثة «ألوان» أحمر وأخضر وأزرق. (يبنغى التأكيد على أن هذه المصطلحات هى مجرد عناوين : فالكواركات أصغر كثيرا من أطوال موجات الضوء المرئي وهكذا فليس لها أى لون بالمعنى العادى. الأمر فحسب أن الفيزيائيين المحدثين لديهم فيما يبدو أساليب من الخيال الأوسع لإطلاق الأسماء على الجسيمات والظواهر الجديدة – فهم لم يعودوا بعد يقتصرون على الإغريقية !) والبروتون أو النيوترون مصنوع من ثلاثة كواركات، واحد من كل لون. ويحوى البروتون كواركين اثنين من العالي وكواركا واحدا واطيا؛ والنيوترون يحوى اثنين من الواطى وواحد من العالي. ويمكننا تخليق جسيمات مصنوعة من كواركات أخرى (غريب، وساحر، وقاع، وقمة)، ولكن هذه كلها لها كتلة أكبر كثيرا وتتحلل سريعا جدا إلى بروتونات ونيوترونات.

ونحن الآن نعرف أنه لا الذرات، ولا ما في داخلها من بروتونات ونيوترونات هى غير قابلة للانقسام. وهكذا فإن السؤال هو : ما هى الجسيمات الأولية الحقة، وحدات البناء الأساسية التى يصنع منها كل شىء؟ وحيث أن طول موجة الضوء هو أكبر كثيرا من حجم الذرة، فإنه لا يمكننا أن نأمل في «النظر» إلى أجزاء الذرة بالطريقة العادية. ونحن نحتاج إلى استخدام شئ ما طول موجته أصغر كثيرا. وكما رأينا في الفصل الأخير، فإن ميكانيكا الكم تخبرنا بأن كل الجسيمات هى فى الحقيقة موجات، وأنه كلما ارتفعت طاقة الجسيم، كان طول الموجة المناظرة أصغر. وهكذا فإن أحسن إجابة نعطيها عن سؤالنا تعتمد على قدر ارتفاع طاقة الجسيم التى تحت تصرفنا، لأن هذا يحدد قدر صغر مقياس الطول الذى يمكننا البحث عنه. وطاقات الجسيمات هذه تقاس عادة بوحدات تسمى فولتات الالكترون. (رأينا في تجارب تومسون على الالكترونات أنه استخدم مجال كهربيا لتعجيل الالكترونات. والطاقة التى يكتسبها الكترون واحد من مجال كهربى لفولت واحد هى ما يعرف بفولت الالكترون). في القرن التاسع عشر، عندما كانت طاقات الجسيم الوحيدة التى عرف الناس كيفية استخدامها هى طاقات منخفضة من وحدات فولت الكترون معدودة تتولد من التفاعلات الكيماوية مُن مثل الاحتراق، كان من المعتقد أن الذرات هى أصغر الوحدات. وفى تجربة روذرفورد، كان لجسيمات ألفا طاقات من ملايين فولتات الالكترون. وقد تعلمنا فى وقت أحدث كيفية استخدام المجالات الكهرومغنطية لتبعث طاقات جسيمات كانت فى أول الأمر بالملايين ثم أصبحت بآلاف الملايين من فولتات الالكترون. وهكذا فنحن نعرف أن الجسيمات التى كان يظن أنها «أولية» منذ عشرين سنة مضت، هى فى الحقيقة تتألف من جسيمات أصغر. أيمكن أن نكتشف – لو ذهبنا إلى الطاقات الأعلى أن هذه الجسيمات هى بدورها تتألف أيضا من جسيمات أصغر؟ من المؤكد أن هذا أمر فى الإمكان، عل أن لدينا بالفعل بعض أسباب نظرية تجعلنا نؤمن بأننا وصلنا أو اقتربنا

جدا من الوصول إلى معرفة وحدات البناء النهائية الطبيعة.

فباستخدام ازدواجية الموجة / الجسيم التى نوقشت فى الفصل الأخير، يمكن توصيف كل شئ فى الكون، بما فى ذلك الضوء والجاذبية، بلغة من الجسيمات. ولهذه الجسيمات خاصية تسمى اللف Spin . وإحدى طرق التفكير فى اللف هى تخيل الجسيمات وكأنها ذرى صغيرة تلف حول أحد المحاور. على أن هذا قد يؤدى لخطأ فى الفهم لأن ميكانيكا الكم تخبرنا أن الجسيمات ليس لها أى محور جيد التحدد. وما يخبرنا به فى الواقع لف أحد الجسيمات هو ما يبدو عليه الجسيم من الاتجاهات المختلفة. فالجسيم الذى يكون لفه صفرا يشبه النقطة : فهو يبدو متماثلا من كل اتجاه (شكل ١ . ٥ - i). ومن الجهة الأخرى فإن جسيما لفه ١ يشبه السهم : فهو يبدو مختلفا من الاتجاهات المختلفة (شكل ١ . ٥ - ii). ولا يبدو هذا الجسيم متماثلا إلا إذا لفه المرء ليدور دورة كاملة (٣٦٠ درجة). والجسيم الذى يكون لفه٢، يشبه سهما ذا رأسين (شكل ١ . ٥ - iii): فهو يبدو



شكل ١ . ٥

متماثلا لو لفه المرء ليدور نصف دورة (١٨٠ درجة). وبالمثل، فإن الجسيمات ذات اللف الأكبر تبدو متماثلة لو لفها المرء لأجزاء أصغر من الدورة الكاملة. ويبدو هذا كله أمرا مباشرا إلى حد ما، ولكن الحقيقة الرائعة هي أن هناك جسيمات لا تبدو متماثلة إذا لفها المرء لتدور دورة واحدة فحسب: وإنما يكون عليك أن تلفها لتدور دورتين كاملتين! ويقال أن مثل هذه الجسيمات لها لف قدره نصف.

وكل الجسيمات المعروفة في الكون يمكن تقسيمها إلى مجموعتين : جسيمات لفها نصف، تصنع المادة التي في الكون، وجسيمات لفها صفر، و١، و٢، وهي كما سوف نرى، تنشأ عنها القوى التي بين جسيمات المادة. وتخضع جسيمات المادة لما يسمى مبدأ الاستبعاد لبولي. وهو مبدأ اكتشفه الفيزيائي النمساوي ولفجانج بولي في ١٩٢٥ – وتلقى بسببه جائزة نوبل في ١٩٤٥. وبولي كان فيزيائيا منظرا نموذجيا : وكان يقال عنه أن مجرد وجوده في نفس المدينة يجعل التجارب تجرى خطأ! ومبدأ الاستبعاد لبولي يقول إن الجسيمين المتماثلين لا يمكن أن يوجدا في نفس الحالة، أي أنهما لا يمكن أن يكون لهما معا نفس الموضع ونفس السرعة، وذلك في حدود ما يفرضه مبدأ عدم اليقين. ومبدأ الاستبعاد حاسم لأنه يفسر لنا سبب عدم تقلص جسيمات المادة إلى حالة من كثافة عالية جدا تحت تأثير القوى الناتجة عن الجسيمات ذات اللف صفر، و١، و٢: فإذا كانت جزئيات المادة لها مايقترب جدا من أن يكون نفس الموضع، فانه يجب أن تكون لها سرعات مختلفة، الأمر الذي يعني أنها لن تبقى طويلا في نفس الموضع. ولو كان العالم مخلوقا دون مبدأ الاستبعاد، فإن الكواركات لم تكن لتشكل بروتونات ونيوترونات منفصلة وجيدة التحدد، ولما كانت البروتونات والنيوترونات هي والالكترونات لتشكل ذرات منفصلة جيدة التحدد. وإنما كانت كلها ستتقلص لتشكل ما هو بالتقريب «حساء» كثيفا متسقا.

ولم يتأتَّ الفهم الصحيح للالكترون والجسيمات الأخرى التي من لف نصف حتى عام ١٩٢٨، عندما طرح بول ديراك نظريته، وقد تم انتخابه فيما بعد لكرسي لوكاس لأستاذية الرياضة في كمبردج (نفس كرسي الأستاذية الذي شغله نيوتن ذات مرة، والذي أشغله أنا الآن). ونظرية ديراك كانت أول نظرية من نوعها تتوائم مع كل من ميكانيكا الكم ونظرية النسبية الخاصة. وهي تفسر رياضيا السبب في أن الالكترون له لف نصف، أي أنه لا يبدو متماثلا لو أنك لففته ليدور دورة كاملة واحدة فقط، ولكنه يبدو هكذا لو لففته ليدور مرتين. وتنبأت النظرية أيضا بأن الالكترون ينبغي أن يكون له رفيق: هو مضاد الالكترون، أو البوزيترون. واكتشاف البوزيترون في ١٩٣٢ قد أثبت نظرية ديراك وأدى إلى فوزه بجائزة نوبل للفيزياء في ١٩٣٣. ونحن نعرف الآن أن لكل جسيم مضاد جسيم، يمكن أن يفنى معه. (في حالة الجسيمات الحاملة للقوى، تكون مضادات الجسيمات مماثلة للجسيمات نفسها). ومن الممكن أن توجد مضادات لعوالم ولأناس بأسرها تتكون من مضادات الجسيمات. على أنك لو قابلت مضاد نفسك، فإياك أن تصافحه! فإنكما ستتلاشيان معا في ومضة ضوء هائلة. والسبب في أنه يوجد حولنا فيما يبدو جسيمات أكثر كثيرا من مضادات الجسيمات هو أمر بالغ الأهمية، وسوف أعود له فيما بعد في هذا الفصل.

وفي ميكانيكا الكم يفترض أن القوى أو التفاعلات فيما بين جسيمات المادة هي كلها

محمولة بواسطة جسيمات ذات لف تام - من صفر، أو ١ أو٢. وما يحدث هو أن جسيم المادة، من مثل الالكترون أو الكوارك، يبعث جسيما حاملا للقوة. والارتداد من هذا الانبعاث يغير سرعة جسيم المادة. ثم يصطدم الجسيم الحامل للقوة بجسيم مادة آخر ويتم امتصاصه. وهذا الاصطدام يغير من سرعة الجسيم الثاني، تماما كما لو كانت هناك قوة بين جسيمي المادة الاثنين.

ومن الخواص المهمة للجسيمات الحاملة للقوة أنها لا تخضع لمبدأ الاستبعاد. ويعني هذا أنه لا حدود لعدد ما يمكن تبادله، وهكذا فإنها تستطيع أن تُنشأ قوة قوية. إلا أن جسيمات حمل القوة إذا كانت ذات كتلة عالية، فإنه سيكون من الصعب إنتاجهاوتبادلها عبر مسافة كبيرة. وهكذا سيكون القوى المحمولة بها مدى قصير وحسب. ومن الناحية الأخرى، إذا كانت الجسيمات الحاملة للقوة ليس لها كتلة تخصها هي نفسها، فإن القوى سيكون لها مدى طويل. وجسيمات حمل القوة التي يتم تبادلها بين جسيمات المادة يقال عنها أنها جسيمات تقديرية Virtual لأنها بخلاف الجسيمات «الحقيقية» لا يمكن الكشف عنها مباشرة بكشاف للجسيمات. على أننا نعرف بوجودها، لأن لها بالفعل مفعولا قابلا للقياس: فهي تنشئ القوى فيما بين جسيمات المادة. وجسيمات لف صفر، أو ١. أو ٢ تتواجد بالفعل أيضا في بعض الظروف كجسيمات حقيقية، حيث يمكن الكشف عنها مباشرة. وهي تبدو لنا عندها بما سيسميه الفيزيائي الكلاسيكي الموجات، مثل موجات الضوء أو موجات الجاذبية. وهي قد تنبعث أحيانا عندما تتفاعل جسيمات المادة أحدها مع الآخر بواسطة تبادل الجسيمات التقديرية الحاملة للقوة. (وكمثل، فإن قوة التنافر الكهربية بين الكترونين ترجع إلى تبدال فوتونات تقديرية، لا يمكن قط الكشف عنها مباشرة؛ ولكن إذا تحرك أحد الالكترونات عبر الآخر، فإن الفوتونات الحقيقية قد تنبعث، ونكشف عنها كموجات ضوء).

ويمكن تقسيم جسيمات حمل القوى إلى أربعة صنوف حسب شدة القوة التي تحملها والجسيمات التي تتفاعل معها. وينبغي التأكيد على أن هذا التقسيم إلى أربعة أنواع قد صنع بواسطة الإنسان؛ وهو مفيد لبناء النظريات الجزئية، إلا أنه قد لا يكون مناظرا لأي شئ أعمق. وفي النهاية فإن معظم الفيزيائيين يأملون العثور على نظرية موحّدة تفسر كل القوى الأربع على أنها أوجه مختلفة لقوة وحيدة. والحقيقة أن الكثيرين سيقولون إن هذا هو الهدف الرئيسي للفيزياء اليوم. وقد أُجريت مؤخرا محاولات ناجحة لتوحيد ثلاثة من الصنوف الأربعة للقوة - وسوف أصفها في هذا الفصل. ومسألة توحيد الصنف الباقي، أي الجاذبية، سنتركها لما بعد.

والصنف الأول من القوى هو قوة الجاذبية. وهذه القوة كونية، أي أن كل جسيم يحس بقوة الجاذبية، حسب كتلته أو طاقته. والجاذبية هي أضعف القوى الأربع إلى حد كبير؛ وهي من الضعف بحيث ما كنا لنلحظها مطلقا لولا أن لها صفتين خاصتين : أنها تستطيع العمل عبر

مسافات كبيرة، وأنها دائما تجذب. ويعني هذا أن قوى الجاذبية الضعيفة جدا بين الجسيمات الفردية في جسمين كبيرين، مثل الأرض والشمس، يمكن أن تتضايف كلها لتنتج قوة لها دلالتها. والقوى الثلاث الأخرى هي إما قصيرة المدى، أو أنها أحيانا تتجاذب وأحيانا تتنافر، بحيث تنزع إلى أن تصبح ملغاة. وبالنظر إلى مجال الجاذبية بطريقة ميكانيكا الكم، فإن القوة التي بين جسمين من المادة تصوَّر على أنها محمولة بجسيم من لف[٢]، يسمى جرافيتون. وهو ليس له كتلة خاصة به، وهكذا فإن القوة التي يحملها ذات مدى طويل. وقوة الجاذبية بين الشمس والأرض تُرجع إلى تبادل الجرافيتونات بين الجسيمات التي تكون هذين الجسمين. ورغم أن الجسيمات المتبادلة تقديرية، إلا أنها بالتأكيد تُنتج بالفعل تأثيرا يمكن قياسه - فهي تجعل الأرض تدور حول الشمس! والجرافيتونات الحقيقية تؤلف ما سوف يسميه الفيزيائيون الكلاسيكيون موجات جاذبية، وهي ضعيفة جدا - ويصعب جدا الكشف عنها حتى أنها لم يتم رصدها قط حتى الآن.

والصنف الثاني هو القوة الكهرومغنطية، التي تتفاعل مع الجسيمات المشحونة كهربيا مثل الالكترونات والكواركات، ولكنها لا تتفاعل مع الجسيمات غير المشحونة مثل الجرافيتونات. وهي أقوى كثيرا من قوة الجاذبية : فالقوة الكهربية بين الكترونين أكبر من قوة الجاذبية بما يقرب من مليون مليون مليون مليون مليون مليون مليون ضعفا (١ يعقبه اثنان وأربعون صفرا). على أن هناك نوعين من الشحنات الكهربائية، الموجبة والسالبة. والقوة بين شحنتين موجبتين متنافرة، مثلما تكون القوة ما بين شحنتين سالبتين، ولكن القوة بين شحنة موجبة وشحنة سالبة تكون متجاذبة. والجسم الكبير، مثل الأرض أو الشمس، يحوى تقريبا أعدادا متساوية من الشحنات الموجبة والسالبة. وهكذا فإن قوى التنافر والتجاذب بين الجسيمات الفردية تقريبا تلغى إحداها الأخرى، ويكون القدر الصافي من القوة الكهرومغنطية صغيرا جدا. أما بالمقاييس الصغيرة للذرات والجزئيات، فإن القوى الكهرومغنطية هي التي تسود. والجذب الكهرومغنطي بين الالكترونات ذات الشحنة السالبة والبروتونات ذات الشحنة الموجبة في النواة يجعل الالكترونات تدور حول نواة الذرة) تماما مثلما يسبب شد الجاذبية أن تدور الأرض حول الشمس. ويُصوَّر الجذب الكهرومغنطي على أنه ناجم عن تبادل أعداد كبيرة من جسيمات تقديرية لا كتلة لها هي من لف ١، تسمى الفوتونات. ومرة أخرى فإن الفوتونات التي يتم تبادلها هي جسيمات تقديرية. إلا أنه عندما يبدل أحد الالكترونات أحد المدارات المسموح بها له إلى آخر أقرب للنواة، فإن الطاقة تنطلق وينبعث فوتون حقيقي - يمكن رصده بالعين البشرية كضوء مرئي، إذا كان له طول الموجة المناسب، أو بكشاف للفوتون مثل الفيلم الفوتوغرافي. ويساوى ذلك، أنه عندما يصطدم فوتون حقيقي بذرة، فإنه قد يحرك الكترونا من مدار أقرب للنواة إلى آخر أبعد عنها. ويؤدى هذا إلى استهلاك طاقة الفوتون. فيتم امتصاصه.

والصنف الثالث هو ما يسمى القوة النووية الضعيفة، وهي المسئولة عن النشاط الإشعاعي وهي التي تعمل على كل جسيمات المادة من لف نصف، ولكنها لا تعمل على الجسيمات من لف صفر، أو ١، أو ٢، مثل الفوتونات والجرافيتونات. والقوة النووية الضعيفة لم تفهم جيدا حتى ١٩٦٧، عندما طرح كل من عبد السلام في الكلية الإمبراطورية بلندن، وستيفن واينبرج في هارفارد نظريات توحد هذا التفاعل مع القوة الكهرومغنطية، تماما مثلما وحد مكسويل الكهرباء والمغناطيسية قبل ذلك بما يقرب من مائة عام. وقد اقترحا أنه بالإضافة إلى الفوتون، ثمة ثلاثة جسيمات أخرى من لف ١، تعرف معا ببوزونات التوجه ذات الكتلة massive vector bosons ، وهي التي تحمل القوة الضعيفة. وقد سميت W^+ (وتنطق W بلاس أي (زائد)، و W^- (وتنطق W مايناس «أي ناقص») و Z° (وتنطق Z نوط «أي صفر»)، ولكل منها كتلة تبلغ حوالي ١٠٠ جي في Gev (وجي في ترمز لجيجا فولت الكترون، أو ألف مليون من فولتات الالكترون). ونظرية واينبرج – سلام تبين خاصية تعرف بكسر السمترية تلقائيا. ويعني هذا أن ما يبدو على أنه عدد من جسيمات مختلفة تماما عند الطاقات المنخفضة، هي في الحقيقة كلها نفس النوع من الجسيم، وإنما في حالات مختلفة. ففي الطاقات العالية تسلك كل هذه الجسيمات بطريقة متماثلة. والنتيجة هي ما يكاد يشبه سلوك كرة الروليت على عجلة الروليت. فعند الطاقات العالية (عندما تُلف العجلة سريعا) تسلك الكرة أساسا بطريقة واحدة فقط – فهي تدور وتدور متدحرجة : ولكن إذ تبطئ العجلة، فإن طاقة الكرة تنقص، وتسقط الكرة في النهاية في أحد ثقوب العجلة السبعة والثلاثين. وبكلمات أخرى فعند الطاقات المنخفضة هناك سبع وثلاثون حالة يمكن أن توجد فيها الكرة. وإذا أمكننا وحسب لسبب ما، أن نرصد الكرة عند الطاقات المنخفضة، فإننا سنظن وقتها أن هناك سبعة وثلاثين نوعا مختلفا من الكور!

وفي نظرية واينبرج – سلام، فإنه عند الطاقات الأكبر كثيرا من ١٠٠ جي في، تسلك الجسيمات الثلاثة الجديدة هي والفوتون كلها بطريقة متماثلة. ولكن عند طاقات الجسيم المنخفضة التي تحدث في معظم المواقف الطبيعية، فإن هذه السمترية بين الجسيمات تتكسر. وسيكتسب W^+ و W^- و Z° كتلا كبيرة، مما يجعل القوى التي تحملها ذات مدى قصير جدا. ووقت أن طرح عبدالسلام وواينبرج نظريتهما، لم يؤمن بها إلا عدد قليل من الناس، وكانت معجلات الجسيمات ليست قوية بما يكفي للوصول إلى طاقات من ١٠٠ جي في وهي الطاقة المطلوبة لإنتاج جسيمات حقيقية من نوع W^+ أو W^- أو Z° . على أنه بمرور السنوات العشر التالية أو ما يقرب من ذلك، اتفقت التنبؤات الأخرى للنظرية عند الطاقات المنخفضة اتفاقا بالغا مع التجربة بحيث مُنح عبد السلام وواينبرج جائزة نوبل للفيزياء هما وشيلدون جلاشو، وهو أيضا من هارفارد، وهو الذي طرح

نظريات موحدة مشابهة، للقوى الكهرومغنطية والنووية الضعيفة. وقد نجت لجنة نوبل من حرج الوقوع فى خطأ، بأن تم فى ١٩٨٣ فى المركز الأوروبى للبحث النووى اكتشاف رفاق الفوتون الثلاثة ذوى الكتلة، مع صحة الكتل المتنبأ بها هى والخواص الأخرى. وتلقى كارلو روبيا، الذى قاد فريقا من عدة مئات من الفيزيائيين الذين قاموا بهذا الكشف، جائزة نوبل فى ١٩٨٤، هو وسيمون فاندريرمير، مهندس المركز الأوروبى للبحث النووى الذى أنشأ نظام التخزين المستخدم لمضاد المادة. (من الصعب جدا فى هذه الأيام إحراز سبق فى الفيزياء التجريبية إلا إذا كنت بالفعل على القمة!).

والصنف الرابع هو القوة النووية القوية، التى تمسك بالكواركات معا فى البروتون والنيوترون، وتمسك البروتونات والنيوترونات معا فى نواة الذرة. ومما يعتقد أن هذه القوة يحملها جسيم آخر من لف ١ يسمى جلون gluon يتفاعل فقط مع نفسه ومع الكواركات. والقوة النووية القوية لها خاصة غريبة تسمى التقييد confine ment : فهى دائما تربط الجسيمات معا فى



شكل ٢ ، ٥

يصطدم بروتون ومضاد بروتون عند طاقة عالية، لينتج زوج من كواركات تكاد تكون حرة

توليفات عديمة اللون. ولا يستطيع المرء أن يجد كواركا وحيدا بذاته لأنه سيكون له لون (أحمر، أو أخضر، أو أزرق). وبدلا من ذلك فإن الكوارك الأحمر يجب أن ينضم إلى كوارك أخضر وكوارك أزرق بواسطة «خيط» من الجلونات (أحمر + أخضر + أزرق = أبيض). ومثل هذا الثلاثى يؤلف

بروتونا أو نيوترونا. وهناك إمكان آخر هو أن يكون ثمة ثنائي يتألف من كوارك ومضاد كوارك (أحمر + مضاد أحمر، أو أخضر + مضاد أخضر، أو أزرق + مضاد أزرق = أبيض). وهذه التوليفات هي التي تؤلف الجسيمات المعروفة بالميزونات mesons ، وهي غير مستقرة لأن الكوارك ومضاد الكوارك يمكن أن يُفني أحدهما الآخر، لتنتج الكترونات وجسيمات أخرى. وبالمثل، فإن التقيد يمنع أن يجد المرء جلونا وحيدا بذاته، لأن الجلونات أيضا لها لون. وبدلا من ذلك يجب أن يجد المرء مجموعة من الجلونات تتضايف ألوانها إلى الأبيض. وهذه المجموعة تشكل جسيما غير مستقر يسمى كرة اللصق glue ball .

وحقيقة أن التقيد يمنع أن يرصد المرء كواركا أو جلونا منعزلا قد يبدو أنها تجعل كل فكرة وجود الكواركات والجلونات كجسيمات أمرا ميتافيزيقيا بعض الشئ. على أن هناك خاصية أخرى للقوة النووية القوية، تسمى الحرية التقريبية asymptotic freedom ، تجعل مفهوم الكواركات والجلونات محددا على نحو جيد. فعند الطاقات العادية، تكون القوة النووية القوية هي حقا قوية، وتربط الكواركات معا بحزم. على أن تجارب معجلات الجسيمات الكبيرة تدل على أنه عند الطاقات العالية تصبح القوة القوية أضعف كثيرا، وتسلك الكواركات والجلونات بما يكاد يماثل الجسيمات الحرة. ويبين شكل ٢ ـ ٥ صورة ضوئية لاصطدام بين بروتون ذي طاقة عالية هو ومضاد البروتون. ونتجت كواركات عديدة تكاد تكون حرة، نشأ عنها «نوافير» من المسارات التي ترى في الصورة.

وقد أدى نجاح توحيد القوى الكهرومغنطية والقوى النووية الضعيفة إلى عدد من المحاولات للجمع بين هاتين القوتين مع القوة النووية القوية فيما يسمى النظرية الموحّدة العظمى Grand Unifed Theory ، (أو Gut). وهذا العنوان فيه مبالغة نوعا ما : فالنظريات الناتجة ليست بكل هذه العظمة، ولا هي موحّدة بالكامل، لأنها لا تتضمن الجاذبية. ولا هي بالنظريات الكاملة حقا، لأنها تحوي عددا من المعلمات قيمتها لا يمكن التنبؤ بها من النظرية ولكنها يجب أن تُختار بحيث تتوامم مع التجربة. ومع ذلك، فإن هذه النظريات قد تكون خطوة تجاه نظرية كاملة موحّدة بالكامل. والفكرة الأساسية في نظريات Gut هي كالتالي : كما ذُكر أعلاه، فإن القوة النووية القوية تصبح ضعيفة عند الطاقات العليا. ومن الناحية الأخرى فإن القوى الكهرومغنطية والضعيفة، التي ليست حرة تقريبا، تصبح أقوى عند الطاقات العالية. وعند طاقة ما عالية جدا، تسمى طاقة التوحيد العظمى، يكون لهذه القوى الثلاث كلها نفس الشدة وهكذا فإنها يمكن أن تكون وحسب أوجه مختلفة لقوة وحيدة. ونظريات Gut تتنبأ أيضا بأنه عند هذه الطاقة فإن جسيمات المادة المختلفة من لف نصف، مثل الكواركات والالكترونات، تصبح أيضا متماثلة أساسا، وهكذا يتم إنجاز توحيد آخر.

وقيمة طاقة التوحيد العظمى ليست معروفة بصورة جيدة جدا، ولكنها فيما يحتمل يلزم أن تكون على الأقل من ألف مليون مليون جي في. والجيل الحالي من معجلات الجسيمات يستطيع أن يصدم الجسيمات على طاقات تبلغ حوالى مائة جي فى، وتوضع خطط لماكينات ترفع هذا إلى آلاف معدودة من وحدات جي في. على أن الماكينة القوية بما يكفي لتعجيل الجسيمات للطاقة الموحدة العظمى ينبغي أن تكون في كبر النظام الشمسي - ولا يحتمل أن يتم تمويلها في المناخ الاقتصادى الحالي. وهكذا فإن من المستحيل اختبار النظريات الموحدة العظمى مباشرة، في المعمل. على أنه تماما كما في حالة النظرية الموحدة للقوى الكهرومغنطية والضعيفة، فإن هناك نتائج للنظرية عند الطاقة المنخفضة يمكن اختبارها.

وأكثر تلك النتائج إثارة للاهتمام هي التنبؤ بأن البروتونات؛ التي تكوّن الكثير من كتلة المادة العادية، يمكن أن تتحلل تلقائيا إلى جسيمات أخف مثل مضادات الالكترون والسبب في إمكان ذلك هو أنه عند طاقة التوحيد العظمى لا يكون ثمة فارق جوهرى بين الكوارك ومضاد الالكترون. والكواركات الثلاثة داخل البروتون هي طبيعيا ليس فيها من الطاقة ما يكفي لتغيرها إلى مضادات الالكترون، ولكن قد يحدث على نحو عرضى جدا أن يكتسب أحدها من الطاقة ما يكفي لصنع هذا التحول؛ لأن مبدأ عدم اليقين يعني أن طاقة الكواركات التي في داخل البروتون لا يمكن أن تكون ثابتة بالضبط . وسوف يتحلل البروتون عند ذاك. واحتمال أن يكتسب أحد الكواركات الطاقة الكافية هو احتمال جد منخفض بحيث أنه يحتمل أن يكون على المرء انتظاره على الأقل لمليون مليون مليون مليون سنة (١ يتبعه ثلاثون صفرا). وهذا زمن أطول كثيرا من الزمن منذ الانفجار الكبير، وهو مجرد عشرة آلاف مليون عام أو ما يقرب من ذلك (١ يتبعه عشرة أصفار). وهكذا فإن المرء قد يظن أن احتمال تحلل البروتون تلقائيا لا يمكن اختباره تجريبيا. على أن المرء يستطيع زيادة فرص اكتشاف تحلل ما بأن يرقب قدرا كبيرا من المادة يحوى عددا كبيرا جدا من البروتونات. (فلو راقب المرء مثلا عددا من البروتونات يساوى ١ يتبعه واحد وثلاثون صفرا لفترة عام واحد، فإنه ليتوقع حسب أبسط نظريات Gut أن يرصد تحلل أكثر من بروتون واحد).

وقد أجرى عدد من مثل هذه التجارب، ولكن لم تؤد أى منها إلى برهان حاسم على تحلل البروتون أو النيوترون. وقد استخدمت إحدى التجارب ثمانية آلاف طن من الماء، وتم إجراؤها في منجم ملح بمورتون بأوهايو (لتجنب وقوع أى أحداث أخرى ناجمة عن الأشعة الكونية، مما قد يختلط أمره مع تحلل البروتون). وحيث أنه لم يتم رصد تحلل تلقائي للبروتون أثناء التجربة، فإن المرء يستطيع أن يحسب طول الحياة المحتمل للبروتون بأنه أكبر من عشرة مليون مليون مليون مليون مليون سنة (١ يتلوه ثلاثون صفرا). وهو أطول من طول الحياة التي تتنبأ به أبسط نظرية

موحدة عظمى، على أن هناك نظريات أكثر إتقانا تكون فيها أطوال الحياة المتنبأ بها أطول. على أن اختبارها سيحتاج إلى تجارب أكثر حساسية وتتضمن حتى كميات أكبر من المادة.

ورغم أن من الصعب جدا رصد التحلل التلقائى للبروتون، إلا أن الأمر قد يكون أن وجودنا ذاته هو نتيجة للعملية العكسية، عملية إنتاج البروتون. أو ببساطة أكثر، إنتاج الكواركات، من وضع أصلى حيث عدد الكواركات لا يزيد فيه عن عدد مضادات الكواركات، وهذه أكثر طريقة طبيعية لتخيل بدأ نشأة الكون. والمادة على الأرض تتألف أساسا من البروتونات والنيوترونات، التى تتألف بدورها من الكواركات. وليس هناك مضادات بروتونات أو مضادات نيوترونات تتألف من مضادات الكواركات، فيما عدا قلة ينتجها الفيزيائيون فى معجلات كبيرة للجسيمات. ولدينا برهان من الأشعة الكونية على أن نفس الشئ يصدق أيضا على كل المادة فى مجرتنا: ليس هناك مضادات بروتونات ولا مضادات نيوترونات فيما عدا عدد قليل يتم إنتاجه كأزواج من جسيم / مضاد الجسيم فى اصطدامات ذات طاقة عالية. ولو كان هناك مناطق كبيرة من مضاد المادة فى مجرتنا، لتوقعنا أن نرصد كميات كبيرة من الإشعاع من الحدود التى بين مناطق المادة ومضادات المادة، حيث ستصطدم جسيمات كثيرة مع مضاداتها، ويفنى أحدها الآخر، وتبعث إشعاعا عالى الطاقة.

وليس لدينا دليل مباشر عما إذا كانت المادة فى المجرات الأخرى تتألف من بروتونات ونيوترونات أو مضادات البروتونات ومضادات النيوترونات، على أن الأمر يجب أن يكون إما هذا أو ذاك . ولا يمكن أن يكون ثمة خليط فى مجرة واحدة لأننا فى هذه الحالة سوف نرصد ثانية الكثير من الإشعاع الناتج من الإفناءات. فنحن إذن نؤمن بأن كل المجرات تتكون من كواركات بأولى من مضادات الكواركات؛ ويبدو من غير المعقول أنه ينبغى أن تكون بعض المجرات من المادة وبعضها من مضاد المادة.

لماذا ينبغى أن يكون هناك كواركات هكذا أكثر كثيرا من مضادات الكواركات ؟ لماذا لا يوجد عدد متساو من كل ؟ من المؤكد أنه من حسن حظنا أن الأعداد ليست متساوية، لأنها لو كانت متماثلة، فإن ما يقرب من كل الكواركات ومضاداتها كانت سيُفنى أحدها الآخر فى الكون المبكر لتترك كونا مليئا بالإشعاع ولا يكاد يحوى أى مادة. ووقتها لن يكون ثمة مجرات، أو نجوم، أو كواكب يمكن أن تنشأ عليها حياة بشرية. ولحسن الحظ، فإن النظريات الموحدة العظمى قد تمد بتفسير للسبب فى أن الكون ينبغى أن يحوى الآن كواركات أكثر من مضادات الكواركات، حتى ولو بدأ الكون بعدد متساوٍ من كل. وكما رأينا فإن نظريات Gut تسمح للكواركات بأن تتغير إلى مضادات الالكترونات عند الطاقة العالية. وهى تسمح أيضا بالعمليات العكسية، أى بأن تتحول مضادات الكواركات إلى الالكترونات، والالكترونات ومضادات الالكترونات تتحول إلى مضادات الكواركات

والكواركات. وقد كان ثمة وقت فى الكون المبكر جداً الحرارة فيه عالية جداً بحيث أن طاقات الجسيمات كانت عالية بما يكفى لوقوع هذه التحولات. ولكن لماذا ينبغى أن يؤدى ذلك إلى وجود عددمن الكواركات أكثر من مضادات الكواركات؟ السبب هو أن قوانين الفيزياء لا تتماثل تماماً بالنسبة للجسيمات ومضاداتها.

وحتى ١٩٥٦ كان يعتقد أن قوانين الطبيعة تخضع لكل من ثلاث سمتريات منفصلة تسمى T, P, C,. وسمترية C تعنى أن القوانين متماثلة للجسيمات ومضاداتها. وسمترية p تعنى أن القوانين متماثلة بالنسبة لأى وضع ولصورته فى المرآة (صورة المرآة لجسيم يلف فى اتجاه إلى اليمين هى جسيم يلف فى اتجاه إلى اليسار). وسمترية T تعنى أنك لو عكست اتجاه حركة كل الجسيمات ومضادات الجسيمات، فإن النظام ينبغى أن يرتد ثانية إلى ما كان عليه فى الأزمنة السابقة؛ وبكلمات أخرى فإن القوانين تتماثل فى الاتجاهين الأمامى والخلفى للزمان.

وفى ١٩٥٦ اقترح فيزيائيان أمريكيان، هما تسونج داولى وتشن ننج يانج، أن القوة الضعيفة لا تخضع فى الحقيقة لسمترية p. وبكلمات أخرى، فإن القوة الضعيفة ستجعل الكون ينشأ بطريقة مختلفة عن الطريقة التى ستنشأ بها صورة المرآة للكون. وفى نفس السنة أثبتت إحدى الزميلات، وهى شين - شيونج ووه، أن هذا التنبؤ صحيح. وقد فعلت ذلك بأن رصّت نوى ذرات مشعة فى مجال مغناطيسى، بحيث تلف كلها فى نفس الاتجاه، وبينت أن الالكترونات كانت تنبعث فى أحد الاتجاهات أكثر من الآخر. وفى السنة التالية تلقى لى ويانج جائزة نوبل عن فكرتهم. وقد وُجد أيضاً أن القوة الضعيفة لا تخضع لسمترية C . أى أنها ستتسبب فى أن الكون الذى يتكون من مضادات الجسيمات يسلك على نحو مختلف عن كوننا. ومع كل، فيبدو أن القوة الضعيفة تخضع فعلاً للسمترية المجمعة cp . أى أن الكون سينشأ بنفس الطريقة مثل صورته فى المرآة، لو حدث بالإضافة ، أن قويض كل جسيم بمضاده! على أن أمريكيين آخريْن، هما ج. و. كرونين، وفال فتش، اكتشفا فى ١٩٦٤ أنه حتى سمترية cp لا يتم الخضوع لها عند تحلل جسيمات معينة تسمى ميزونات - ك K - mesons . وقد تلقى كرونين وفتش فى النهاية جائزة نوبل عن بحثهما، وذلك فى عام ١٩٨٠. (تم منح جوائز كثيرة لإظهار أن الكون ليس بالبساطة التى قد نظن أنه عليها!).

وثمة نظرية رياضية تقول أن أى نظرية تخضع لميكانيكا الكم وللنسبية يجب دائماً أن تخضع للسمترية المجمعة cpt . وبكلمات أخرى، يكون على الكون أن يسلك سلوكاً متماثلاً لو استبدل المرء بالجسيمات مضادات الجسيمات، وأخذ صورة المرآة، وعكس أيضاً اتجاه الزمان. على أن كرونين وفتش قد بينا أنه لو استبدل المرء بالجسيمات مضادات الجسيمات، وأخذ صورة

المرآة، ولكنه لم يعكس اتجاه الزمان، فإن الكون إذن «لا» يسلك نفس السلوك. وإذن فإن قوانين الطبيعة يجب أن تتغير لو أن المرء عكس اتجاه الزمان – فهي لا تخضع لسمترية T .

ومن المؤكد أن الكون المبكر لا يخضع لسمترية T : إذا امتد الزمان أماما يتمدد الكون – وإذا امتد وراءً، فسوف يتقلص الكون. وحيث أن هناك قوى لا تخضع لسمترية T ، فإنه يتبع ذلك أن الكون إذا يتمدد، فإن هذه القوى يمكن أن تسبب تحول مضادات الالكترونات إلى كواركات أكثر من تحول الالكترونات إلى مضادات الكواركات. وإذن فإنه إذ يتمدد الكون ثم يبرد، فإن مضادات الكواركات تفنى مع الكواركات، ولكن حيث أنه سيكون هناك كواركات أكثر من مضاداتها، فسيبقى فائض صغير من الكواركات. وهذه هي التي تؤلف المادة التي نراها الآن والتي صُنعنا نحن أنفسنا منها. وهكذا فإن وجودنا ذاته يمكن النظر إليه كإثبات للنظريات الموحدة العظمى، وإن كان هذا إثباتا كيفيا فقط؛ وأوجه عدم اليقين هي بحيث أن المرء لا يتمكن من التنبؤ بعدد الكواركات التي ستُخلف بعد الإفناء، ولا حتى بما إذا كان ما سيبقى هو كواركات أو مضادات الكواركات. (على أنه لو كان الفائض من مضادات الكواركات لكنا ببساطة قد سمينا مضادات الكواركات كواركات،والكوراكات مضادات كواركات).

والنظريات الموحدة العظمى لا تشمل قوة الجاذبية. وهذا لا يهم كثيرا جدا لأن الجاذبية قوة من الضعف بحيث أن تأثيراتها يمكن عادة إهمالها عندما نتعامل مع جسيمات أولية أو ذرات. على أن حقيقة أنها تتصف معا بالمدى الطويل وبأنها دائما تجذب، تعني أن تأثيراتها كلها تتضايف. وهكذا فبالنسبة لجسيمات المادة التي يكون عددها كبيرا بما يكفي، فإن قوى الجاذبية قد تغلب على كل القوى الأخرى. وهذا هو السبب في أن الجاذبية هي التي تحدد تطور الكون. وحتى بالنسبة للأشياء من حجم النجوم، فإن القوة الجاذبة للجاذبية تستطيع الفوز على كل القوى الأخرى وتسبب تقلص النجم. وقد كان عملي في السبعينيات مركّزا على الثقوب السوداء التي قد تنجم من مثل هذا التقلص النجمي، وعلى مجالات الجاذبية الشديدة من حولها. وكان هذا هو ما أدى إلى الإشارات الأولى عن كيف أن نظريات ميكانيكا الكم والنسبية العامة قد تؤثر إحداها في الأخرى – وفي هذا لمحة من شكل نظرية كم للجاذبية التي سوف تأتي ذات يوم.

ooo

٦

الثقوب السوداء

مصطلح «الثقب الأسود» أصله حديث جدا. فقد صاغه فى ١٩٦٩ العالم الأمريكى جون هويلر كوصف تصويرى لفكرة ترجع وراءً إلى مائتى عام على الأقل، إلى وقت كانت هناك فيه نظريتان عن الضوء: إحداهما، التى كان نيوتن يحبذها، وهو أن الضوء يتكوّن من جسيمات؛ والأخرى وهى أنه يُصنع من موجات. ونحن نعلم الآن أن النظريتين هما فى الواقع صحيحتان معا، فبواسطة ازدواجية الموجة / الجسيم فى ميكانيكا الكم. يمكن النظر إلى الضوء على أنه معا موجة وجسيم. ولم يكن من الواضح كيف يستجيب الضوء للجاذبية حسب نظرية أنه مصنوع من الموجات. ولكن لو أن الضوء يتكون من جسيمات، فإن المرء قد يتوقع لها أن تتأثر بالجاذبية بالطريقة نفسها التى تتأثر بها قذائف المدفع، والصواريخ، والكواكب. وكان الناس يعتقدون فى أول الأمر أن جسيمات الضوء تنتقل بسرعة لا متناهية، وهكذا فإن الجاذبية لن يكون لها القدرة على تقليل سرعتها، ولكن اكتشاف رويمر أن الضوء ينتقل بسرعة متناهية كان معناه أن الجاذبية قد يكون لها تأثير مهم.

وبهذا الغرض، كتب أحد أساتذة كمبردج، وهو جون متشيل، ورقة بحث فى ١٧٨٣ فى «التقارير الفلسفية للجمعية الملكية بلندن» بين فيها أن النجم الذى يكون له قدر كاف من الكتلة والدموج سيكون له مجال جاذبية من القوة بحيث لا يتمكن الضوء من الهرب منه : وأى ضوء ينبعث من سطح النجم سيُجر للخلف بشد جاذبية النجم قبل أن يتمكن من أن يبتعد كثيرا . واقترح متشيل أنه قد يكون هناك عدد كبير من النجوم هكذا . ورغم أننا لن نتمكن من رؤيتها لأن ضوءها لن يصل إلينا، إلا أننا سنظل نحس بشد جاذبيتها . وهذه الأشياء هى ما نسميها الآن الثقوب السوداء، لأن هذا هو ما تكونه : فراغات سوداء فى الفضاء. وقد طرح العالم الفرنسى الماركيز دى لابلاس اقتراحا مماثلا بعد ذلك بسنوات معدودة، ومن الواضح أن ذلك كان على نحو مستقل عن متشيل.

ومن الشيق بما يكفي، أن لابلاس ضمن اقتراحه في الطبعة الأولى والثانية فقط من كتابه «نظام العالم» وحذفه من الطبعات التالية؛ ولعله قرر أنه فكرة جنونية. (كما أن نظرية جسيمات الضوء كانت قد أصبحت غير محبذة أثناء القرن التاسع عشر؛ فقد بدا أن كل شيء يمكن تفسيره بنظرية الموجة؛ وحسب نظرية الموجة لم يكن من الواضح إن كان الضوء سيتأثر على الإطلاق بالجاذبية).

والحقيقة أنه ليس مما يتلاءم أن نتناول الضوء وكأنه مثل قذائف المدفع في نظرية نيوتن للجاذبية، ذلك أن سرعة الضوء ثابتة. (قذيفة المدفع التي تُطلق من الأرض لأعلى، ستبطئ سرعتها بالجاذبية وفي النهاية فإنها ستقف لتسقط ثانية؛ إلا أن الفوتون لا بد أن يستمر لأعلى بسرعة ثابتة. كيف يمكن إذن لجاذبية نيوتن أن تؤثر في الضوء؟) لم تأت نظرية متماسكة عن كيفية تأثير الجاذبية في الضوء حتى طرح إينشتين النسبية العامة في ١٩١٥. وحتى آنذاك، فقد مر وقت طويل قبل أن تُفهم دلالات النظرية بالنسبة للنجوم الأضخم كتلة.

ومن أجل أن نفهم كيف يمكن أن يتكون ثقب أسود، نحتاج أولا إلى أن نفهم دورة حياة النجم. فالنجم يتكون عندما تأخذ كمية كبيرة من الغاز (عادة الهيدروجين) في التقلص على نفسها للداخل بسبب شد جاذبيتها. وبينما هي تتكمش فإن ذرات الغاز تصطدم إحداها بالأخرى بتواتر أكثر وأكثر وسرعات أكبر وأكبر – ويسخن الغاز. وفي النهاية يبلغ من سخونة الغاز أنه عندما تصطدم ذرات الهيدروجين فإنها لا تعود بعد مرتدة إحداها عن الأخرى، وإنما هي بدلا من ذلك تتلاحم لتكوّن الهيليوم. والحرارة التي تنطلق في هذا التفاعل، والتي تشبه انفجاراً محكوما لقنبلة هيدروجينية، هي ما يجعل النجم يسطع. وتؤدي هذه الحرارة الإضافية إيضا إلى زيادة ضغط الغاز حتى يصبح الضغط كافيا للتوازن مع شد الجاذبية، ويتوقف الغاز عن الانكماش. والأمر يشبه البالونة نوعا – فثمة توازن بين ضغط الهواء من داخلها، الذي يحاول أن يجعل البالونة تتمدد، وتوتر المطاط، الذي يحاول أن يجعل البالونة أصغر. وتظل النجوم مستقرة هكذا زمنا طويلا، وحرارة التفاعلات النووية توازن شد الجاذبية. على أنه في النهاية، ينفد ما لدى النجم من الهيدروجين وغير ذلك من الوقود النري. ومن المفارقة، أنه كلما زاد الوقود الذي يبدأ به النجم، فإنه ينفد بسرعة أكبر. وسبب ذلك أنه كلما كان النجم أضخم كتلة، احتاج لأن يسخن أكثر ليوازن شد جاذبيته. وكلما زادت سخونته، فإنه يستنفد وقوده بأسرع. وشمسنا فيما يحتمل لديها من الوقود ما يكفي لخمسة آلاف مليون سنة أخرى أو ما يقرب من ذلك، إلا أن النجوم الأضخم يمكنها أن تستنفد وقودها في زمن قليل من مثل مائة مليون سنة، وهذا أقل كثيرا من عمر الكون. وعندما ينفد وقود نجم، فإنه يبدأ في أن يبرد وبالتالي في أن ينكمش. ولم يُفهم ما يمكن أن يحدث له بعدها إلا لأول مرة عند نهاية عشرينيات هذا القرن.

ففى ١٩٢٨ كان طالب جامعى هندى، اسمه سبرامنيان تشاندراسيخار، يبحر إلى انجلترا ليدرس فى كمبردج مع فلكى بريطانى هو سير أرثر إدنجتون، أحد الخبراء فى النسبية العامة. (حسب إحدى الروايات، أخبر صحفى إدنجتون فى أوائل العشرينيات أنه قد سمع أنه لا يوجد سوى ثلاثة أفراد فى العالم يفهمون النسبية العامة. وصمت إدنجتون، ثم أجاب «إننى أحاول أن أتذكر من هو الشخص الثالث»). وأثناء رحلته من الهند، حسب تشاندراسيخار إلى أى حد يمكن للنجم أن يكون كبيرا ويظل مبقيا على نفسه ضد جاذبيته نفسها بعد أن يستنفد كل وقوده. والفكرة كالتالى: عندما يصبح النجم صغيرا، فإن جسيمات المادة تصبح متقاربة جدا من بعضها، وهكذا حسب مبدأ بولى للاستبعاد، فإنه ينبغى أن يكون لها سرعات مختلفة جدا. وهذا يجعلها تتحرك مبتعدة عن بعضها وهكذا فإنه ينزع لأن يجعل النجم يتمدد. فالنجم إذن يستطيع أن يبقى نفسه فى نصف قطر ثابت بالتوازن ما بين شد الجاذبية هو والتنافر الذى ينشأ عن مبدأ الاستبعاد، تماما مثلما كانت الجاذبية تتوازن بالحرارة فيما سبق من حياته.

على أن تشاندراسيخار تبين أن هناك حدا للتنافر الذى يمكن أن يمد به مبدأ الاستبعاد. ونظرية النسبية تحدد أقصى فارق فى سرعات جسيمات المادة فى النجم بأنه سرعة الضوء. ويعنى هذا أنه عندما يصبح النجم كثيفا بما يكفى، فإن التنافر الذى يسببه مبدأ الاستبعاد سيكون أقل من شد الجاذبية. وقد حسب تشاندراسيخار أن نجما باردا تزيد كتلته عما يقرب من ضعف كتلة الشمس مرة ونصف المرة لن يتمكن من الإبقاء على نفسه ضد جاذبيته نفسها. (تعرف هذه الكتلة الآن بأنها حد تشاندراسيخار). وقد تم اكتشاف مماثل فى نفس الوقت تقريبا بواسطة عالم روسى هو ليف دافيدوفتش لانداو.

كان لهذا دلالات خطيرة بالنسبة للمصير النهائى للكواكب الضخمة. فإذا كانت كتلة النجم أقل من حد تشاندراسيخار فسيمكنه فى النهاية أن يتوقف عن الانكماش وأن يستقر فيما يحتمل فى حالة نهائية «كقزم أبيض» يكون نصف قطره آلاف معدودة من الأميال وكثافته مئات الأطنان لكل بوصة مكعبة. والقزم الأبيض يُبقى عليه حسب مبدأ الاستبعاد بالتنافر بين الالكترونات التى فى مادته. ونحن نرصد عددا كبيرا من هذه النجوم القزمة البيضاء. وأحد أوائل ما اكتشف من هذه النجوم، نجم يدور من حولى الشعرى اليمانية ألمع نجم فى سماء الليل.

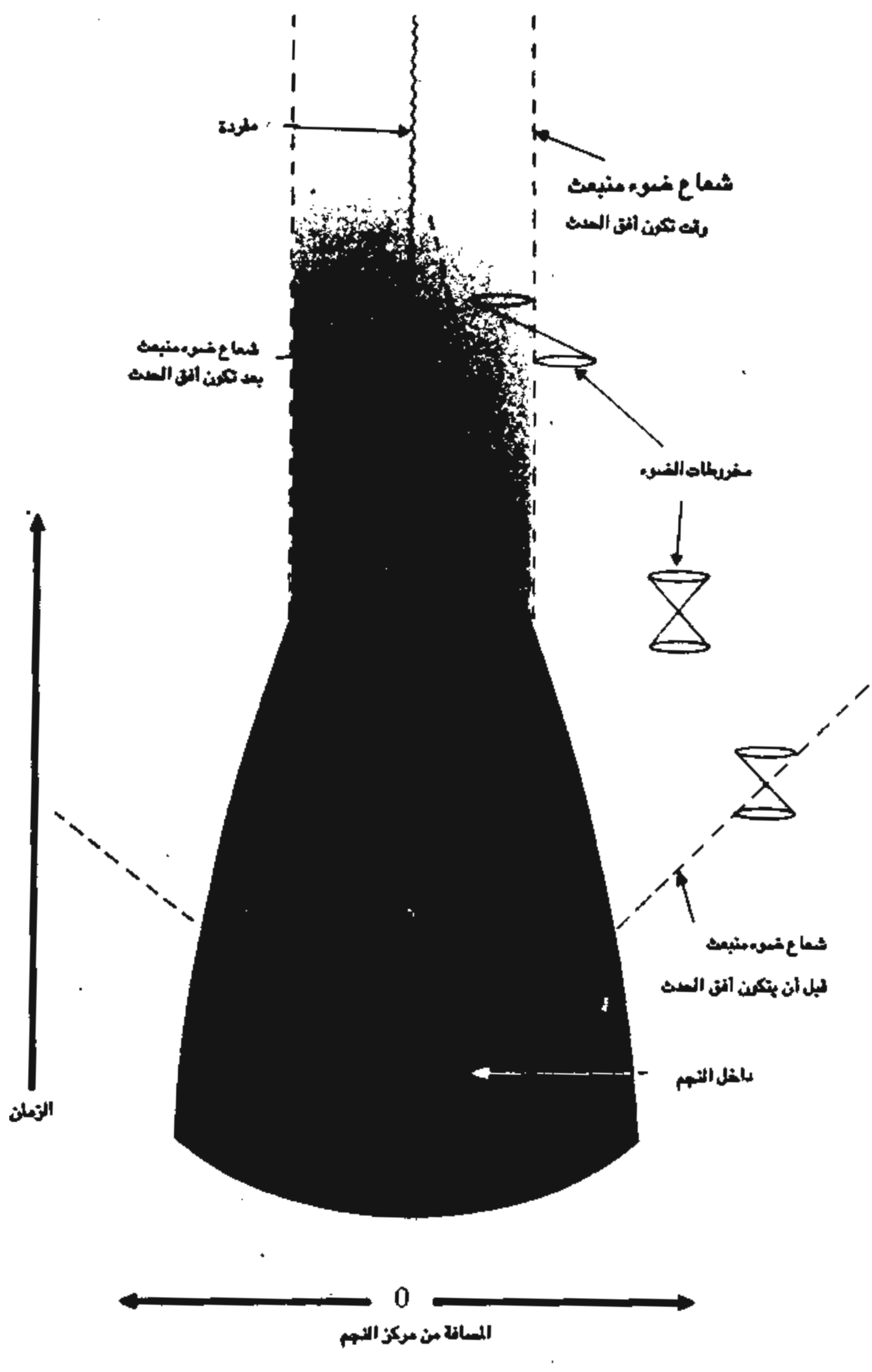
وقد بين لانداو أن ثمة حالة نهائية أخرى محتملة للنجم والذى يكون أيضا بحد كتلة يقرب من ضعف أو ضعفى كتلة الشمس ولكنه يكون حتى أصغر جدا من القزم الأبيض. وهذه النجوم يُبقى عليها حسب مبدأ الاستبعاد بالتنافر بين النيوترونات والبروتونات بدلا من التنافر بين الالكترونات. ولذلك فهى تسمى نجوم النيوترون. ويكون لها نصف قطر من عشرة أميال فقط أو ما يقرب من ذلك

وكثافتها مئات ملايين الأطنان لكل بوصة مكعبة. ووقت أن تم التنبؤ بنجوم النيوترونات لأول مرة، لم يكن ثمة طريقة يمكن رصدها بها. ولم يتم اكتشافها بالفعل إلا بعد ذلك بكثير.

ومن الجانب الآخر، فإن النجوم التي تكون كتلتها فوق حد تشاندراسيخار يكون لديها مشكلة كبيرة عندما تصل إلى استنفاد وقودها. وفي بعض الحالات فإنها قد تنفجر أو تتمكن من أن تقذف بعيدا بقدر من المادة فيه ما يكفي لتخفيض كتلتها لأقل من الحد وبهذا تتجنب كارثة التقلص بالجاذبية، على أنه من الصعب الإيمان بأن هذا هو ما يحدث دائما، مهما كان كبر النجم. كيف للنجم أن يعرف أن عليه أن يخفض وزنه؟ وحتى لو تمكن كل نجم من أن يفقد من المادة ما يكفي لتجنب التقلص، فماذا سيحدث لو أنك أضفت كتلة أكثر إلى قزم أبيض أو نجم نيوترون لتصل به إلى ما يتجاوز الحد؟ هل سيتقلص إلى كثافة لا متناهية؟ لقد صُدم ادنجتون بهذه الدلالة، ورفض أن يصدق نتيجة تشاندراسيخار. فقد اعتقد إدنجتون أنه ببساطة لا يمكن لنجم أن يتقلص إلى نُقطة. وكان هذا هو رأى معظم العلماء: وإينشتين نفسه قد كتب ورقة بحث زعم فيها أن النجوم لا تنكمش إلى حجم الصفر. أما تشاندراسيخار فإن ما كان من عداء العلماء الآخرين، وخاصة ادنجتون أستاذه السابق والمرجع الثقة في بنية النجوم، قد حثه على أن يهجر هذا الخط من البحث وأن يلتفت بدلا من ذلك إلى مشاكل أخرى في علم الفلك، مثل حركة مجاميع النجوم. على أنه عندما منح جائزة نوبل في ١٩٨٣ كان ذلك، على الأقل جزئيا، بسبب بحثه المبكر على حد الكتلة للنجوم الباردة.

وتشاندراسيخار قد بين أن مبدأ الاستبعاد لا يمكن أن يوقف تقلص نجم كتلته أكبر من حد تشاندراسيخار، ولكن مشكلة فهم ما سيحدث لهذا النجم، حسب النسبية العامة، تم حلها لأول مرة بواسطة الأمريكي الشاب روبرت أوبنهيمر في ١٩٣٩. على أن نتيجة بحثه قد دلت على أنه لن تكون ثمة نتائج من مشاهدات يمكن الكشف عنها بواسطة تليسكوبات ذلك العهد. ثم تدخلت الحرب العالمية الثانية وأصبح أوبنهيمر نفسه مشتركا اشتراكا وثيقا في مشروع القنبلة الذرية. أما بعد الحرب فقد تم نسيان مشكلة التقلص بالجاذبية على نحو واسع حيث أن معظم العلماء أصبحوا مشغولين بما يحدث على نطاق الذرة ونواتها. على أنه في ستينيات هذا القرن، عاد إحياء الاهتمام بالمشاكل التي على المقياس الكبير في علم الفلك والكونيات؛ وذلك بسبب تزايد هائل في عدد ومدى المشاهدات الفلكية، الأمر الذي تأتّى باستخدام التكنولوجيا الحديثة. وهكذا أعيد اكتشاف بحث اوبنهيمر كما وسّعه العديد من الأفراد.

والصورة التي لدينا الآن عن بحث أوبنهيمر هي كالتالي: يغير مجال جاذبية النجم مسارات أشعة الضوء في المكان - الزمان عما كانت ستكون عليه لو لم يكن النجم موجودا. ومخروطات


مفردة
شعاع ضوء منبعث
وقت تكون أفق الحدث
شعاع ضوء منبعث
بعد تكون أفق الحدث
مخروطات الضوء
شعاع ضوء منبعث
قبل أن يتكون أفق الحدث
داخل النجم
الزمان
0
المسافة من مركز النجم

شكل ٦٫١

الضوء، التى تدل على المسارات التى ستتبعها فى المكان والزمان ومضات الضوء المنبعثة من أطرافها، تتقوس قليلا للداخل بالقرب من سطح النجم. ويمكن رؤية ذلك فى إنحناء الضوء الآتى من النجوم البعيدة التى ترصد أثناء كسوف الشمس. وإذ ينكمش النجم، فإن مجال الجاذبية عند سطحه يصبح أقوى فتنحنى مخروطات الضوء بأكثر للداخل. وهذا يزيد من صعوبة هروب الضوء من النجم. ويبدو الضوء أكثر اعتاما واحمرارا للراصد البعيد. وفى النهاية، عندما ينكمش النجم إلى نصف قطر حرج معين، فإن مجال الجاذبية عند سطحه يصبح من القوة بحيث تنحنى مخروطات الضوء للداخل كثيرا حتى أن الضوء لا يستطيع فرارا بعدها (شكل ١، ٦). وحسب نظرية النسبية، فما من شئ يمكن أن يتحرك بأسرع من الضوء. وهكذا فإذا كان الضوء لا يستطيع فرارا، فما من شئ آخر يمكنه ذلك؛ ويُجر كل شئ وراء بواسطة مجال الجاذبية. وهكذا يصبح لدينا مجموعة من الأحداث، منطقة من المكان – الزمان، لا يمكن الفرار منها للوصول إلى راصد بعيد. وهذه المنطقة هى ما نسميه الآن ثقبا أسود. وحدها يسمى أفق الحدث وهو يتطابق مع مسارات أشعة الضوء التى فشلت فى التو فى الفرار من الثقب الأسود.

وحتى تفهم ما سوف تراه لو كنت ترقب نجما يتقلص ليكوّن ثقبا أسود، فإن عليك أن تتذكر أنه فى النظرية النسبية ليس ثمة زمان مطلق. وكل راصد لديه قياسه الخاص للزمان. والزمن عند شخص ما فوق أحد النجوم يكون مختلفا عن الزمن عند شخص آخر على مبعدة، وذلك بسبب مجال جاذبية النجم. هب أن فلكيا جسورا على سطح نجم متقلص، وهو يتقلص معه للداخل. ويرسل إشارة كل ثانية، حسب ساعته، إلى سفينته الفضائية التى تدور حول النجم. وعند وقت ما حسب ساعته، وليكن مثلا الساعة ١١,٠٠، سينكمش النجم إلى ما هو أقل من نصف القطر الحرج الذى يصبح عنده مجال الجاذبية من القوة بحيث لا يستطيع أى شئ فرارا، وهكذا فإن إشاراته لن تصل بعد إلى سفينة الفضاء. وإذ تقترب الساعة ١١,٠٠، فإن زملاءه الذين يرقبونه من سفينة الفضاء سيجدون أن الفواصل التى بين الإشارات المتتالية الآتية من الفلكى تصبح أطول وأطول، ولكن هذا التأثير يكون صغيرا جدا قبل الساعة ١٠,٥٩,٥٩. وسيكون عليهم الانتظار لما يزيد فقط عن الثانية زيادة جد هينة بين إشارة الفلكى عند ١٠,٥٩,٥٨ والإشارة التى أرسلها عندما كانت ساعته تقرأ ١٠,٥٩,٥٩، إلا أنهم سيكون عليهم أن ينتظروا إلى الأبد لإشارة الساعة ١١,٠٠. فإشارات الضوء المنبثقة من سطح النجم بين ١٠,٥٩,٥٩ و١١,٠٠ حسب ساعة الفلكى، سوف تنتشر على فترة زمان لا متناهية، كما يُرى من سفينة الفضاء. والفاصل الزمنى بين وصول الموجات المتتابعة إلى سفينة الفضاء سيصبح أطول وأطول، وهكذا يبدو الضوء الصادر من النجم أكثر وأكثر أحمرارا وشحوبا. وفى النهاية يصبح النجم معتما بدرجة أنه لا يمكن بعد رؤيته من سفينة الفضاء: وكل ما سيخلفه هو ثقب أسود فى الفضاء. على أن النجم سيواصل ممارسة نفس قوة

جاذبيته على سفينة الفضاء، التى ستواصل الدوران حول الثقب الأسود.

على أن هذا السيناريو ليس واقعيا بالكامل، وذلك بسبب المشكلة التالية. إن الجاذبية تزيد ضعفا كلما ابتعدت عن النجم، وهكذا فإن قوة الجاذبية عند قدمي فلكيّنا الجسور ستكون دائما أعظم مما عند رأسه. وفارق القوى هذا سيمط فلكينا ليصبح مثل الأسباجتى أو يمزقه بددا قبل أن ينكمش النجم إلى نصف قطره الحرج الذى يتشكل عنده أفق الحدث! على أننا نعتقد أن هناك فى الكون أشياء أكبر كثيرا، مثل المناطق المركزية فى المجرات، هى أيضا يمكن أن تخضع للتقلص بالجاذبية لتنتج ثقوبا سوداء؛ وإذا كان ثمة فلكى فوق واحد منها فإنه لن يتمزق بددا قبل أن يتكون الثقب الأسود. فهو فى الحقيقة لن يحس بأى شئ خاص عند الوصول إلى نصف القطر الحرج، ويمكنه أن يتجاوز نقطة اللاعودة دون أن يلحظها. على أنه فى خلال ساعات معدودة فحسب، إذ تستمر المنطقة فى التقلص، سيصبح الفارق بين قوى الجاذبية عند رأسه وقدميه من القوة بحيث أنه سيمزقه بددا مرة أخرى.

وقد بين البحث الذى قام به روجر بنروز وإياى بين ١٩٦٥، ١٩٧٠، أنه حسب النسبية العامة، يجب أن يكون من داخل الثقب الأسود مفردة من اللاتناهى فى الكثافة وانحناء المكان – الزمان. ويكاد هذا يشبه الانفجار الكبير عند بدأ الزمان، إلا أنه سيكون نهاية الزمان للجسم المتقلص والفلكى. وعند هذة المفردة تنهار قوانين العلم وقدرتنا على التنبؤ بالمستقبل. على أن أى ملاحظ يبقى خارج الثقب الأسود لن يتأثر بهذا العجز فى القدرة على التنبؤ، لأنه لا الضوء ولا أى إشارة أخرى يمكن أن تصل إليه من المفردة. وهذه الحقيقة البارزة قد أدت بروجر بنروز إلى أن يطرح فرض الرقابة الكونية، الذى يمكن إعادة صياغته بأن «المفردة العارية هى أمر ممقوت». وبكلمات أخرى فإن المفردات التى ينتجها التقلص بالجاذبية تحدث فقط فى الأماكن من مثل الثقوب السوداء، حيث يتم إخفاؤها بصورة مهذبة عن الرؤية من الخارج وذلك بواسطة أفق الحدث. وعلى وجه الدقة، فإن هذا هو ما يعرف بفرض الرقابة الكونية الضعيف: وهو يحمى الملاحظين الذين يبقون خارج الثقب الأسود من نتائج انهيار القدرة على التنبؤ الذى يحدث عند المفردة، ولكنه لا يفعل شيئا على الإطلاق بالنسبة للفلكى التعس البائس الذى يهوى لداخل الثقب.

وهناك بعض الحلول لمعادلات النسبية العامة يحتمل فيها لفلكينا أن يرى مفردة عارية: فهو قد يتمكن من تجنب الوقوع فى المفردة ويسقط بدلا من ذلك فى «ثقب دودى» worm hole ليخرج إلى منطقة أخرى من الكون. وسيقدم هذا إمكانات هائلة للسفر فى الفضاء والزمان، ولكن، ولسوء الحظ، يبدو أن هذه الحلول تكون كلها غير مستقرة إلى درجة كبيرة؛ وأقل اضطراب يحدث، من مثل وجود أحد علماء الفلك، قد يغير فيها بحيث لا يستطيع الفلكى أن يرى المفردة حتى

يصطدم بها ويصل زمانه إلى نهايته. وبكلمات أخرى، فإن المفردة ستقع دائما في مستقبله ولا تقع قط في ماضيه. والنسخة القوية لفرض الرقابة الكونية تقرر أنه في الحل الواقعي ستقع المفردات دائما إما في المستقبل بالكلية (مثل مفردات التقلص بالجاذبية) أو في الماضي بالكلية (مثل الانفجار الكبير). ومما يؤمل أملا كبيرا أن تصح نسخة ما من فرضي الرقابة لأن الاقتراب من المفردات العارية قد يمكن من السفر في الماضي. وإذا كان هذا شيئا رائعا لمؤلفي الروايات العلمية، فإنه يعني أنه لن تكون حياة أي شخص آمنة قط: فقد يمضي أحدهم إلى الماضي ويقتل أباك أو أمك قبل أن يُحمل بك!

وأفق الحدث، حد منطقة المكان – الزمان التي لا يمكن الفرار منها، يعمل بما يشبه غشاء حول الثقب الأسود يكون المرور منه في اتجاه واحد : فالأشياء من مثل الفلكيين المتهورين، يمكن أن تسقط من خلال أفق الحدث إلى داخل الثقب الأسود، ولكن شيئا لن يتمكن قط من الخروج من الثقب الأسود من خلال أفق الحدث. (تذكر أن أفق الحدث هو مسار في المكان – الزمان للضوء الذي يحاول الهروب من الثقب الأسود، ولا شئ يمكن أن ينتقل بأسرع من الضوء). ويمكن للمرء أن يقول عن أفق الحدث نفس ما قاله دانتي عند مدخل الجحيم : «ودِّع كل أمل، يامن ستدخل هنا». وأي شئ أو فرد يهوى من خلال أفق الحدث سيصل إلى منطقة الكثافة اللامتناهية ونهاية الزمان.

تتنبأ النسبية العامة بأن الأشياء الثقيلة التي تتحرك تسبب انبعاث موجات جاذبية، تموجات في منحنى المكان تنتقل بسرعة الضوء. وهي تماثل موجات الضوء، التي هي تموجات في المجال الكهرومغنطي، ولكنها أصعب كثيرا في الكشف عنها. وهي كالضوء تحمل الطاقة بعيدا عن الأشياء التي تبعثها. وإذن فإن المرء يتوقع أن نسقا معينا من أشياء ضخمة سوف يستقر به الأمر في النهاية إلى حالة ثابتة، لأن الطاقة التي في أي حركة سيتم حملها بعيدا بانبعاث موجات الجاذبية. (والأمر يشبه إسقاط قطعة فلين في الماء: فهي في أول الأمر تهتز لأعلى وأسفل بقدر كبير، ولكن إذ تحمل التموجات طاقتها بعيدا، فإنها في النهاية تستقر في حالة ثابتة). وكمثل، فإن حركة الأرض في مدارها حول الشمس تُنتج أمواج جاذبية. وتأثير فقدان الطاقة هو أن يتغير مدار الأرض بحيث أنها تدريجيا تزيد وتزيد قربا من الشمس، وتصطدم بها في النهاية، وتستقر في حالة ثابتة. ومعدل فقدان الطاقة في حالة الأرض والشمس هو معدل بطئ جدا – يقارب ما يكفي لتشغيل سخان كهربي صغير. ويعني هذا أن الأرض ستستغرق ما يقرب من ألف مليون مليون مليون مليون سنة لتجري إلى داخل الشمس، وهكذا فليس من سبب مباشر للإنزعاج! وتغير مدار الأرض هو أبطأ من أن يُلحظ، على أنه قد لوحظ في السنوات المعدودة الماضية أن هذا التأثير نفسه يحدث في نسق يسمى PSR 1913 + 16 (ترمز psr إلى Pulsar «النابض» وهو نوع خاص من

نجم النيوترون يبث نبضات منتظمة من موجات الراديو). ويحوى هذا النسق نجمى نيوترون يدور كل منهما حول الآخر، والطاقة التى يفقدانها ببث موجات الجاذبية تجعلهما يتحركان لولبيا للداخل أحدهما فى اتجاه الآخر.

وأثناء تقلص أحد النجوم بالجاذبية ليكوّن ثقبا أسود، ستكون الحركات أسرع كثيرا، وهكذا فإن معدل حمل الطاقة بعيدا سيكون أعلى كثيرا. وهكذا لن يمضى زمن جد طويل قبل أن يستقر فى حالة ثابتة. كيف ستبدو هذه المرحلة النهائية ؟ للمرء أن يفترض أنها سوف تعتمد على كل قسمات النجم المركبة التى يتكون منها – ليس فحسب كتلته ومعدل دورانه، وإنما أيضا الكثافات المختلفة لأجزاء النجم المختلفة، والحركات المعقدة للغازات من داخل النجم. ولو كانت الثقوب السوداء تتباين مثل الأشياء التى تقلصت لتكوّنها، فإنه قد يكون من الصعب جدا إقامة أى تنبؤات عن الثقوب السوداء عامة.

على أنه فى ١٩٦٧، ثُوّرت دراسة الثقوب السوداء على يد ويرنر إسرائيل، وهو عالم كندى (ولد فى برلين ونشأ فى جنوب أفريقيا، ونال درجته للدكتوراه فى إيرلندا). وقد بين إسرائيل، أنه حسب النسبية العامة، يجب أن تكون الثقوب السوداء غير الدوّارة بسيطة جدا؛ فهى كروية على نحو كامل، وحجمها يعتمد فقط على كتلتها، وأى ثقبين أسودين هكذا ولهما نفس الكتلة يكونان متطابقين. والحقيقة أنهما يمكن توصيفهما حسب حل معين لمعادلات إينشتين مما كان معروفا منذ ١٩١٧، ووجده كارل شوارتز تشيلد بعد اكتشاف النسبية العامة بزمن قصير. وفى أول الأمر حاجّ أناس كثيرون، بما فيهم إسرائيل نفسه، بأنه حيث أن الثقوب السوداء يلزم أن تكون كروية على نحو كامل، فإن الثقب الأسود لا يمكن أن يتكون إلا من تقلص شئ كروى على نحو كامل. وإذن فإن أى نجم حقيقى – الذى لا يمكن أن يكون قط كرويا على نحو «كامل» – لا يستطيع أن يتقلص إلا ليشكل مفردة عارية.

على أن ثمة تفسيرا مختلفا لنتيجة إسرائيل، قد اتخذه بالذات روجر بنروز وجون هويلر. فقد حاجّا بأن الحركات السريعة التى تشارك فى تقلص النجم تعنى أن موجات الجاذبية التى أطلقها سوف تجعله دائما أكثر كروية، وعند الوقت الذى سوف يستقر فيه إلى حالة ثابتة، فإنه سيكون كرويا بالضبط. وحسب هذه النظرية فإن أى نجم غير دوار، مهما كان تعقد شكله وبنْيته الداخلية، سينتهى بعد التقلص بالجاذبية إلى ثقب أسود كامل الكروية، ولا يعتمد حجمه إلا على كتلته. وقد دعمت حسابات أخرى من هذه النظرة وسرعان ما تم اتخاذها بصورة عامة.

ونتيجة إسرائيل تتناول حالة الثقوب السوداء التى تتكون فقط من أجسام غير دوارة. وفى ١٩٦٣ وجد روى كير النيوزلندى مجموعة حلول للمعادلات النسبية العامة توصف الثقوب السوداء

الدوارة. وثقوب «كير» السوداء هذه تدور بمعدل ثابت، وحجمها وشكلها يعتمدان فقط على كتلتها ومعدل دورانها. فإذا كان الدوران صفرا، يكون الثقب الأسود كامل الاستدارة، ويكون الحل مطابقا لحل شوارتز تشيلد. وإذا كان الدوران ليس بصفر، فإن الثقب الأسود ينبعج للخارج قرب خط استوائه (تماما مثلما تنبعج الأرض أو الشمس بسبب دورانهما)، وكلما زادت سرعة دورانه، زاد انبعاجه. وهكذا فحتى تُوسَّع نتيجة إسرائيل لتشمل الأجسام الدوّارة، حُدس أن أي جسم دوار يتقلص ليكوّن ثقبا أسود يستقر في النهاية إلى حالة ثابتة مما وصفه حل كير.

وفي ١٩٧٠ قام زميل وطالب بحث عندي في كمبردج، وهو براندون كارتر، باتخاذ أول خطوة نحو إثبات هذا الحدس. وقد بين أنه، مع شرط أن يكون الثقب الأسود الدوار المستقر له محور سمترية، مثل نحلة تلف، فإن شكله وحجمه سيعتمدان فقط على كتلته ومعدل دورانه. ثم أثبتّ أنا في ١٩٧١ أن أي ثقب أسود دوار مستقر سيكون له حقا محور السمترية هذا. وأخيرا فإن دافيد روبنسون بكلية الملك في لندن استخدم في ١٩٧٣ نتائج كارتر ونتائجي ليبين أن الحدس كان صحيحا: إن ثقبا أسود هكذا يلزم حقا أن يكون حسب حل كير. وهكذا فإنه بعد التقلص بالجاذبية يجب أن يستقر الثقب الأسود في حالة يمكن له فيها أن يدور ولكنه لا ينبض. وفوق ذلك، فإن حجمه وشكله سيعتمدان فقط على كتلته ومعدل دورانه، وليس على طبيعة الجسم الذي تقلص ليكوّنه. وقد أصبحت هذه النتيجة معروفة بأنها قاعدة أن «الثقب الأسود ليس له شعر». ونظرية «اللاشعر» لها أهمية تطبيقية عظيمة، لأنها تحدد تحديدا كبيرا الأنواع الممكنة من الثقوب السوداء. ويستطيع المرء إذن أنه يصنع نماذج مفصلة للأشياء التي قد تحوي ثقوب سوداء ويقارن التنبؤات من النماذج بالمشاهدات. ويعني هذا أيضا أن قدرا كبيرا جدا من المعلومات عن الجسم الذي تقلص، يضيع ولابد عندما يتكوّن الثقب الأسود، لأن كل ما يحتمل أنه سيمكننا قياسه بعدها بشأن الجسم سيكون كتلته ومعدل دورانه. ومغزى هذا سيمكننا رؤيته في الفصل التالي.

والثقوب السوداء هي واحدة من عدد صغير نوعا من الحالات في تاريخ العلم حيث تنشأ إحدى النظريات بتفصيل عظيم كنموذج رياضي قبل أن يكون هناك أي برهان من المشاهدات على صحتها. والحقيقة أن هذه كانت الحجة الرئيسية المعتادة لمعارضي الثقوب السوداء. كيف يمكن للمرء أن يؤمن بأشياء البرهان الوحيد عليها هو حسابات تتأسس على نظرية النسبية العامة المشكوك في أمرها؟ على أنه في ١٩٦٣، قام مارتن شميدت، الفلكي في مرصد بالومار بكاليفورنيا، بقياس الإزاحة الحمراء لشئ شاحب يشبه النجم في اتجاه مصدر موجات الراديو المسماة 3c273 (أي المصدر رقم ٢٧٣ في كتالوج كمبردج الثالث عن مصادر الراديو). وقد وجد أنه أكبر جدا من أن يتسبب عن مجال الجاذبية: ولو كانت هذه إزاحة حمراء بالجاذبية، لكان ينبغي

أن يكون الشيء ضخما جدا وقريبا منا جدا بحيث أنه كان سيثير الاضطراب في مدارات كواكب النظام الشمسي. وهذا يدل على أن هذه الإزاحة الحمراء قد نجمت بدلا من ذلك عن تمدد الكون، الأمر الذي يعني بدوره أن ذلك الشيء بعيد بمسافة طويلة جدا. وحتى يكون الشيء مرئيا على مسافة عظيمة هكذا، فإنه يجب أن يكون لامعا جدا، وبكلمات أخرى فإنه يجب أن يبث قدرا هائلا من الطاقة. والآلية الوحيدة التي يمكن للناس أن يتصوروا أنها تنتج هذه الكميات الكبيرة من الطاقة هي فيما يبدو التقلص بالجاذبية لا لنجم فحسب بل لمنطقة مركزية بكاملها في إحدى المجرات. وقد تم اكتشاف عدد آخر مما يماثل ذلك من «الأشياء شبه النجمية»، أو الكوازارات quasars، وكلها لها إزاحة حمراء كبيرة. ولكنها جميعا بعيدة جدا وبالتالي يصعب جدا رصدها حتى تمدنا بالبرهان القاطع على الثقوب السوداء.

وفي ١٩٦٧ أتى تشجيع جديد لوجود الثقوب السوداء مع اكتشاف طالبة بحث في كمبردج، هي جوسلين بل، لأشياء في السماء تبث نبضات منتظمة من موجات الراديو. وقد ظنت بل في أول الأمر، هي وأنتوني هيوش الذي كان يشرف عليها، أنهما ربما قد وصلا إلى الاتصال بمدنية غريبة في المجرة! والحقيقة أني أذكر أنهما في الندوة التي أعلنا فيها اكتشافهما قد سميا المصادر الأربعة الأولى التي وجداها LGM 1- 4، وترمز LGM «للرجال الخضر الصغار Little Green men». على أنهما في نهاية الأمر، وصلا هما وكل واحد اخر إلى استنتاج أقل رومانسية بشأن هذه الأشياء، التي أعطيت اسم «النابضات»، وهي في الحقيقة نجوم نيوترون دوّارة تبث نبضات من موجات الراديو بسبب تفاعل معقد بين مجالاتها الكهرومغنطية والمادة المحيطة وكان في هذا أنباء سيئة لمؤلفي مغامرات الفضاء، ولكن فيه ما يثير أكبر الأمل للعدد الصغير الذي كان يؤمن بالثقوب السوداء آنذاك: فقد كان هذا أول برهان إيجابي على وجود نجوم النيوترون. ونجم النيوترون له نصف قطر من حوالي عشرة أميال، وهو لا يبلغ إلا القليل من تضاعفات نصف القطر الحرج الذي يصبح النجم عنده ثقبا أسود. وإذا أمكن لنجم أن يتقلص إلى مثل هذا الحجم الصغير، فليس من غير المعقول أن نتوقع أن نجوما أخرى يمكنها أن تتقلص حتى لحجم أصغر وتصبح ثقوبا سوداء.

كيف يمكننا أن نأمل الكشف عن ثقب أسود، حيث أنه حسب تعريفه ذاته لا يبث أي ضوء؟ قد يبدو الأمر نوعا من البحث عن قطة سوداء في قبو الفحم. ولحسن الحظ فإن ثمة طريقة لذلك. فكما بين جون متشيل في ورقة بحثه الرائدة في ١٧٨٣، يظل الثقب الأسود يمارس قوة الجاذبية على الأشياء القريبة منه. وقد رصد الفلكيون أنسقة كثيرة يدور فيها نجمان أحدهما حول الآخر، حيث يتجاذبان أحدهما الآخر بواسطة الجاذبية. وهم قد رصدوا أيضا أنسقة لا يكون فيها إلا نجم

واحد مرئى يدور من حول رفيق له غير مرئى. ولا يستطيع المرء بالطبع أن يستنتج مباشرة أن هذا الرفيق هو ثقب أسود: فقد يكون مجرد نجم أشحب من أن يرى. على أن بعض هذه الأنسقة مثل ذلك الذى يسمى Cygnus x - 1 (شكل ٦.٢) هى أيضا مصادر قوية لأشعة إكس. وأحسن تفسير لهذه الظاهرة هو أن المادة قد نفخت من على سطح النجم المرئى. وهى إذ تسقط فى اتجاه الرفيق غير المرئى، تنشئ حركة لولبية (تكاد تشبه ماء يجرى خارج حمام)، وتصبح ساخنة للغاية، وتبث أشعة إكس (شكل ٦،٣). وحتى تعمل هذه الالية، يجب أن يكون الشئ غير المرئى صغيرا جدا مثل قزم أبيض، أو نجم نيوترون، أو ثقب أسود. ويمكن المرء من المدار المرصود للنجم المرئى، أن يحدد أقل كتلة ممكنة للشئ غير المرئى. وفى حالة Cyngusx1 وُجد أن هذه تبلغ ما يقارب ستة أمثال كتلة الشمس، وهذا حسب نتيجة تشاندراسيخار أضخم كثيرا من أن يكون الشئ غير المرئى قزما أبيض. وهى أيضا كتلة أكبر كثيرا من أن تكون نجم نيوترون. ويبدو إذن أنها ولا بد ثقب أسود.



شكل ٦،٢

النجم الأسطع من النجمين القريبين من منتصف الصورة هو Cygnus x-1 الذى يُعتقد أنه يتكون من ثقب أسود ونجم طبيعى، يدور كل منهما حول الآخر

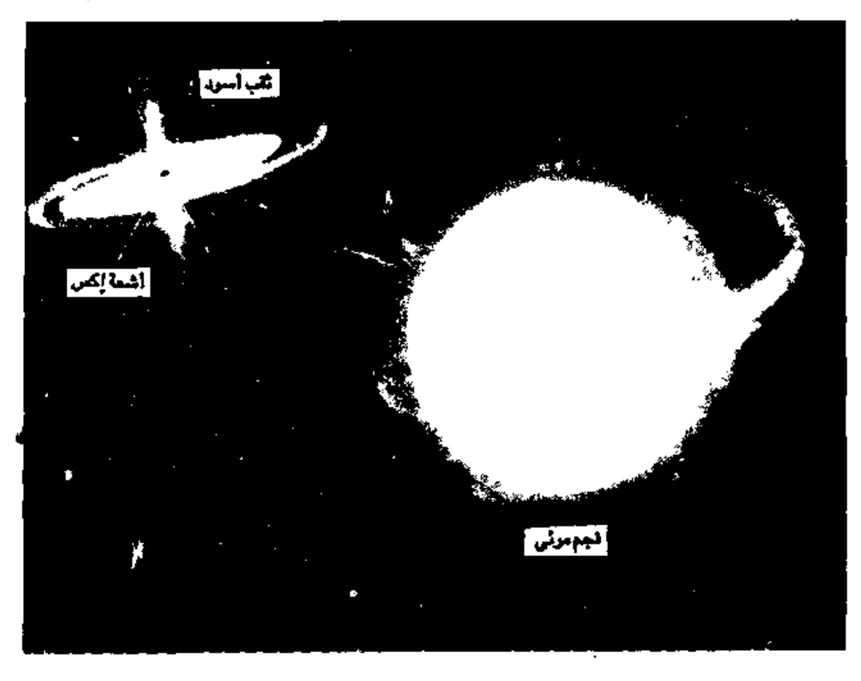
وثمة نماذج أخرى لتفسير Cygnus x - 1 لا تتضمن ثقبا أسود، ولكنها كلها بعيدة الاحتمال نوعا، ويبدو أن الثقب الأسود هو التفسير الطبيعي الحقيقي الوحيد للمشاهدات. ورغم هذا، قام رهان بيني وبين كيب ثورن، الذي يعمل في معهد كاليفورنيا التكنولوجيا، على أن Cyg-nus x - 1 في الحقيقة لا يحوي ثقبا أسود! وهذا نوع من بوليصة تأمين لصالحي. فقد قمت بالكثير من البحث على الثقوب السوداء، وسيضيع كله هباء لو ثبت في النهاية أنه لا توجد ثقوب سوداء. ولكني في هذه الحالة سيعزيني أني سأكسب رهانا يجلب لي مجلة «العين الخاصة» لمدة أربعة أعوام. وإذا كانت الثقوب السوداء موجودة بالفعل، فسوف ينال كيب مجلة «بنتهاوس» لمدة سنة. وعندما تراهنا في ١٩٧٥، كنا متأكدين بنسبة ٨٠ في المائة من أن Cygnusx-1 هو ثقب أسود. وفي وقتنا هذا، يمكنني القول بأننا متأكدون بما يقرب من ٩٥ في المائة، على أن الرهان لم يُحسم بعد.

ونحن لدينا الآن أيضا برهان على ثقوب سوداء أخرى عديدة في أنساق مثل Cygnus x - 1 في مجرتنا وفي مجرتين متجاورتين يسميان «السحب الماجلانية». على أنه يكاد يكون مؤكدا أن عدد الثقوب السوداء هو أكبر كثيرا جدا من ذلك؛ ففي تاريخ الكون الطويل، يجب أن تكون نجوم كثيرة قد أحرقت كل وقودها النووي وأصبح عليها أن تتقلص. وقد يكون عدد الثقوب السوداء حتى أعظم كثيرا من عدد النجوم المرئية، الذي يصل إلى ما يقرب من مائة ألف مليون في مجرتنا وحدها. وشد الجاذبية الإضافي لمثل هذا العدد الكبير من الثقوب السوداء يمكن أن يفسر السبب في أن مجرتنا تدور بالمعدل الذي تدور به: فكتلة النجوم المرئية لا تكفي لتفسير ذلك. ولدينا أيضا بعض دليل على أن ثمة ثقبا أسود أكبر كثيرا، له كتلة تقرب من مائة ألف ضعف لكتلة الشمس، وذلك عند مركز مجرتنا. ونجوم المجرة التي تقترب قربا شديدا من هذا الثقب الأسود ستتمزق بددا بسبب فارق قوى الجاذبية على جانبيها القريب والبعيد. وبقاياها، هي والغاز الذي يلقى به بعيدا من النجوم الأخرى، ستهوى تجاه الثقب الأسود. وكما في حالة Cygnus x-1 ، فإن الغاز سيدور لولبيا للداخل وتزيد سخونته، وإن لم يكن ذلك كثيرا بمثل ما في تلك الحالة. فهو لن يسخن بما يكفي لبث أشعة إكس ولكنه يمكن أن يفسر ذلك المصدر، بالغ الدمج، لموجات الراديو والأشعة تحت الحمراء الذي يُرصد عند مركز المجرة.

ومن المعتقد أن ثقوبا سوداء مماثلة، وإن كانت حتى أكبر وتصل كتلتها إلى مايقرب من مائة مليون ضعف لكتلة الشمس، هي مما يحدث عند مراكز الكوازارات. والمادة التي تقع لداخل ثقب أسود فائق الضخامة هكذا، تمد بالمصدر الوحيد للقوة التي تبلغ من الكبر ما يكفي لتفسير الكميات الهائلة من الطاقة التي تبثها هذه الأشياء. وإذ تدور المادة لولبيا لداخل الثقب الأسود، فإنها تجعل

الثقب يدور في نفس الاتجاه، مما يجعله ينشئ مجالا مغناطيسيا يشبه نوعا مجال الأرض. وتتولد جسيمات طاقة عالية جدا قرب الثقب الأسود بواسطة المادة التي تهوى للداخل. ويكون المجال المغناطيسي من القوة بحيث يمكنه تركيز هذه الجسيمات في نافورات تُنفث للخارج على طول محور دورات الثقب الأسود، أي في اتجاهي قطبيه الشمالي والجنوبي. وقد رصدت نفثات كهذه حقا في عدد من المجرات والكوازارات.

ويمكن للمرء أن ينظر أيضا في إمكانية أن قد توجد ثقوب سوداء كتلتها تقل كثيرا عن كتلة الشمس. ومثل هذه الثقوب السوداء لا يمكن أن تتكوّن بالتقلص بالجاذبية، لأن كتلتها أقل من حد كتلة تشاندراسيخار: والنجوم التي بهذه الكتلة الصغيرة يمكن لها أن تبقى على نفسها ضد قوة الجاذبية حتى عندما تستنفد وقودها النووي. والثقوب السوداء ذات الكتلة الصغيرة لا يمكن أن تتكوّن إلا إذا كانت المادة مضغوطة إلى كثافة هائلة بواسطة ضغوط خارجية كبيرة جدا. وظروف مثل هذه يمكن أن تحدث في قنبلة هيدروجينية كبيرة جدا : وقد حسب الفيزيائي جون هويلر ذات مرة أنه لو أخذ المرء كل الماء الثقيل في كل محيطات العالم، فإنه يستطيع أن يبني قنبلة هيدروجينية تضغط المادة عند المنتصف ضغطا شديدا بحيث يتخلق ثقب أسود. (بالطبع لن يكون هناك أحد قد بقى لرصده!) وثمة إمكانية عملية بأكثر وهي أن هذه النجوم السوداء ذات الكتلة



شكل ٣ ، ٦

الصغيرة ربما تكونت في الحرارات والضغوط العالية للكون المبكر جدا. وما كانت الثقوب السوداء لتتكون إلا والكون المبكر ليس مستويا ولا متسقا إلى حد الكمال، ذلك أنه لا يمكن أن ينضغط على هذا النحو لتكوين ثقب أسود إلا منطقة صغيرة من الكون تكون لها كثافة أكبر من المتوسط. ولكننا نعلم أنه قد كان هناك ولا بد بعض أوجه من عدم الانتظام، والسبب أنه بغير ذلك فإن المادة في الكون ستكون موزعة باتساق كامل في العهد الحالي، بدلا من أن تتكتل معا في نجوم ومجرات.

ومسألة إذا كانت أوجه عدم الانتظام المطلوبة لتفسير النجوم والمجرات قد أدت إلى تكوين عدد له مغزاه من الثقوب السوداء «البدائية»، تعتمد بوضوح على تفاصيل الظروف في الكون المبكر. وهكذا فلو أمكننا أن نحدد عدد الثقوب السوداء البدائية الموجودة الآن، فسوف نتمكن من تعلم الشئ الكثير عن المراحل المبكرة جدا للكون. والثقوب السوداء البدائية التي تزيد كتلتها عن ألف مليون طن (كتلة جبل كبير) لا يمكن الكشف عنها إلا بتأثير جاذبيتها، على مادة أخرى مرئية أو على تمدد الكون. على أن الثقوب السوداء، كما سنعرف في الفصل التالي، هي رغم كل شئ ليست حقا سوداء: فهي تتوهج كالجسم الساخن، وكلما صغر حجمها زاد توهجها. وهكذا، وبالمفارقة، فقد يثبت فعلا في النهاية أن الثقوب السوداء الأصغر يكون الكشف عنها أسهل من الثقوب السوداء الكبيرة!

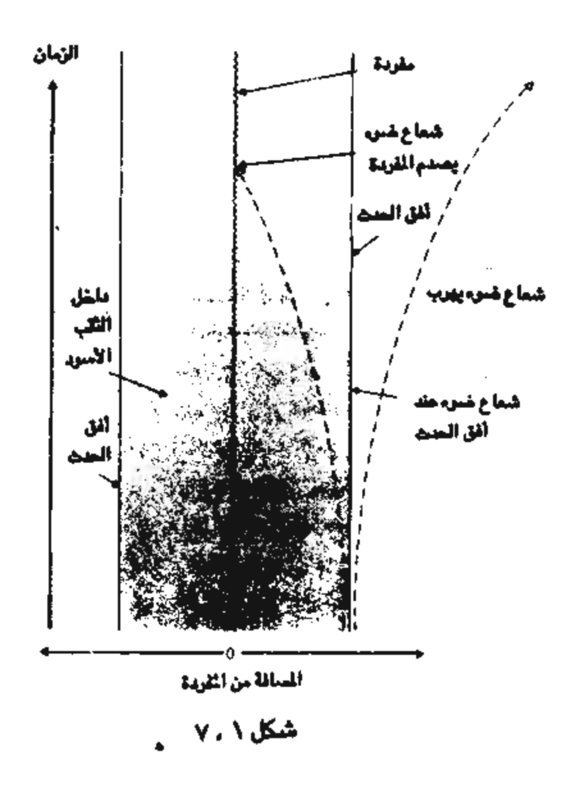


٧

الثقوب السوداء ليست جد سوداء

قبل ١٩٧٠، كان بحثى فى النسبية العامة يتركز أساسا على مسألة ما إذا كان أو لم يكن ثمة مفردة انفجار كبير. على أنى فى أحد أمسيات نوفمبر من ذلك العام، بعد ميلاد ابنتى لوسى بزمن قصير أخذت أفكر فى شأن الثقوب السوداء وأنا أتهيأ للنوم. وعجزى يجعل من ذلك عملية بطيئة نوعاً، وهكذا يكون لدى فسحة من الوقت.وفى ذلك الحين لم يكن ثمة تعريف دقيق عن أى النقاط فى المكان – الزمان تقع داخل الثقب الأسود وأيها تقع خارجه. وكنت من قبل قد ناقشت مع روجر بنروز فكرة تعريف الثقب الأسود كمجموعة من الأحداث التى لا يمكن الفرار منها إلى مسافة بعيدة، وهذا هو التعريف المقبول حاليا بعامة. وهو يعنى أن حد الثقب الأسود، أفق الحدث، يتكون من مسارات أشعة الضوء فى المكان – الزمان التى تخفق فى التوفى أن تهرب بعيدا عن الثقب الأسود، محومة إلى الأبد على الحرف بالضبط (شكل ٧ . ١). والأمر يشبه إلى حد ما الهروب بعيدا من الشرطة مع التمكن فحسب من المحافظة على الابتعاد عنهم بخطوة واحدة أمامهم ولكن دون التمكن من التخلص منهم بعيدا!

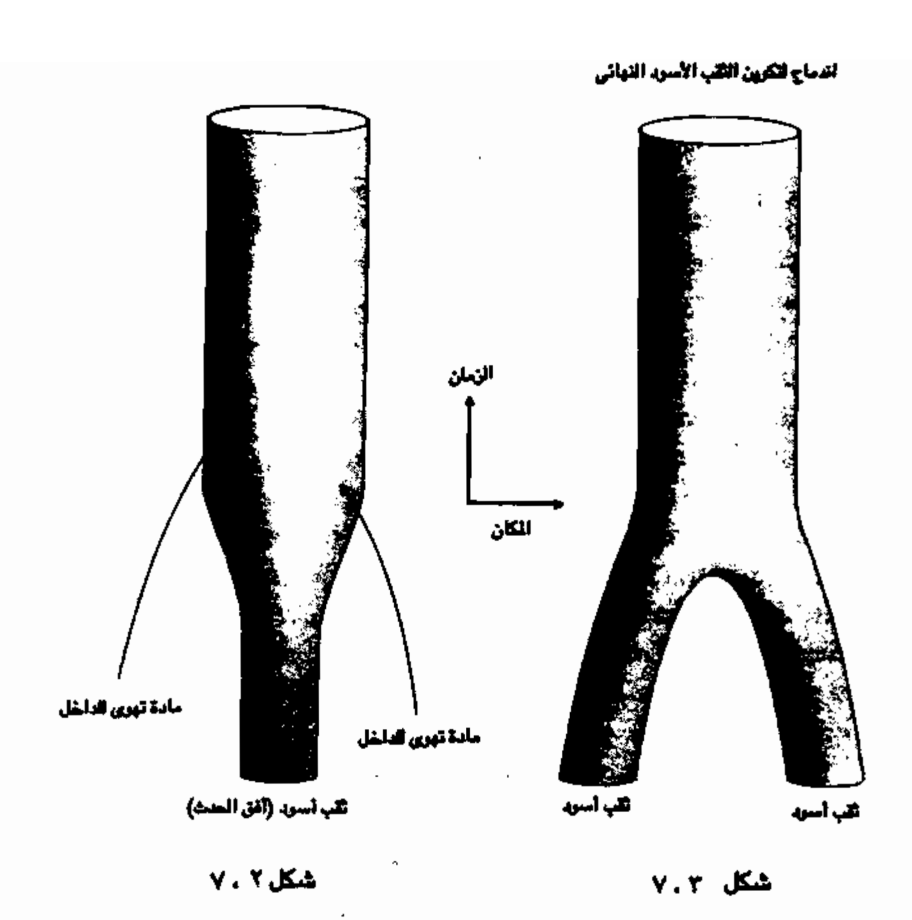
وفجأة تبينت أن مسارات أشعة الضوء هذه لا يمكن قط أن يقترب أحدها من الآخر. ولو فعلت، فإنها فى النهاية لا بد أن يصطدم أحدها بالآخر. وسيكون الأمر مثل ملاقاة شخص آخر يهرب بعيدا عن الشرطة فى الاتجاه المضاد – فسوف يتم إلقاء القبض عليكما معا! (لو أنكما فى هذه الحالة ستقعان فى الثقب الأسود). ولكن لو أن أشعة الضوء هذه تم ابتلاعها بواسطة الثقب الأسود، فإنها وقتها لن يمكنها أن توجد عند حد الثقب الأسود. وهكذا فإن مسارات أشعة الضوء فى أفق الحدث يلزم أن تتحرك دائما وأحدها يتوازى مع الآخر أو يبتعد عن الآخر. والطريقة الأخرى لرؤية ذلك هى أن أفق الحدث، حد الثقب الأسود، هو مثل حرف أحد الظلال – ظل القدر الوشيك. ولو نظرت إلى الظل الذى يلقيه مصدر على مسافة هائلة مثل الشمس، فسوف ترى أن أشعة الضوء فى الحرف لا يقترب أحدها من الآخر.



شكل ١ ، ٧

وإذا كانت أشعة الضوء التي تكون أفق الحدث، حد الثقب الأسود، لا تستطيع قط أن يقترب أحدها من الآخر، فإن مساحة أفق الحدث قد تبقى كما هي أو تزيد بمرور الزمن، ولكنها لا يمكن قط أن تقل – لأن هذا سيعني أن بعضا على الأقل من أشعة الضوء التي عند الحد سيلزم أن يقترب أحدها من الآخر. والحقيقة أن المساحة ستزيد كلما سقطت مادة أو إشعاع في الثقب الأسود (شكل ٢ ، ٧) أو إذا اصطدم ثقبان أسودان واندمجا معا ليكونا ثقبا أسود واحدا، فستكون مساحة أفق الحدث للثقب الأسود النهائي أعظم أو مساوية لمجموع مساحتي أفقي الحدث للثقبين الأسودين الأصليين (شكل ٣ ، ٧). فخاصية عدم نقصان مساحة أفق الحدث تضع قيدامهما على السلوك المحتمل للثقوب السوداء. وانفعلت بالغ الانفعال باكتشافي حتى أني لم أنم كثيرا تلك الليلة. وفي اليوم التالي تلفنت لروجر بنروز. واتفق معي في الرأي. واعتقد أنه في الحقيقة كان متنبها لخاصية المساحة هذه. على أنه كان يستخدم تعريفا للثقب الأسود يختلف اختلافا بسيطا. وهو لم يتبين أن حدود الثقب الأسود ستكون حسب التعريفين هي نفسها، وبالتالي فإن مساحاتها ستكون كذلك، بشرط أن يكون الثقب الأسود قد استقر على حالة لا يتغير فيها بالزمن.

وسلوك عدم نقصان مساحة الثقب الأسود فيه ما يذكر كثيرا بسلوك كم فيزيائي يسمى



شكل ٢ ، ٧

شكل ٣ ، ٧

الانتروبيا Entropy التى تقيس درجة اضطراب أحد النظم. ومن أمور الخبرة المشتركة أن الاضطراب ينزع إلى أن يتزايد عندما تترك الأشياء لذاتها . (وحتى يرى المرء ذلك فليس عليه إلا أن يتوقف عن القيام بإصلاح ما حوله بالمنزل!) ويمكن للمرء أن يخلق النظام من الاضطراب (فيمكن للمرء مثلا أن يطلى المنزل)، ولكن هذا يتطلب إنفاق جهد أو طاقة، ويقلل هكذا من قدر الطاقة المنظمة المتاحة.

والمقولة الدقيقة عن هذه الفكرة تُعرف بالقانون الثانى للديناميكا الحرارية. وهو يقرر أن الانتروبيا فى نظام منعزل تتزايد دائما، وأنه عندما يتحد نظامان معا، فإن انتروبيا النظام المتحد تكون أكبر من حاصل جمع انتروبيا النظامين الفرديين. ولننظر مثلا نظام جزيئات غاز فى صندوق. فيمكن تصور الجزيئات ككرات بلياردو صغيرة تصطدم باستمرار بعضها ببعض وترتد من جدران الصندوق. وكلما زادت حرارة الغاز، زادت سرعة تحرك الجزيئات، وبالتالى زاد تواتر وشدة اصطدامها بجدران الصندوق وزاد الضغط الذى تمارسه للخارج على الجدران. هب أن الجزيئات فى أول الأمر كانت كلها محصورة فى الجانب الأيسر من الصندوق بواسطة حاجز لو أزيل الحاجز

بعد ذلك، فإن الجزيئات تنزع إلى الانتشار للخارج وتشغل نصفى الصندوق. ويمكن لها فيما بعد أن تصبح كلها بالصدفة فى النصف الأيمن أو تعود ثانية إلى النصف الأيسر ولكن الاحتمال الأكبر الغالب أنه ستكون هناك أعداد متساوية على وجه التقريب فى النصفين : وهذه الحالة هى أقل انتظاما، أو أكثر اضطرابا عن الحالة الأصلية التى كانت الجزيئات فيها كلها فى نصف واحد. ويقول المرء إذن أن انتروبيا الغاز قد تزايدت. وبالمثل، لو فرضنا أن المرء يبدأ بصندوقين، أحدهما يحوى جزيئات أوكسجين والآخر يحوى جزيئات نيتروجين. فإذا ضم المرء الصندوقين معا وأزال الجدار الفاصل، فإن جزيئات الأوكسيجن والنيتروجين تبدأ فى الامتزاج. وفى وقت لاحق ستكون الحالة الأكثر احتمالا هى وجود مزيج متسق إلى حد ما من جزيئات الأوكسجين والنتروجين خلال الصندوقين. وهذه الحالة ستكون أقل انتظاما، وبالتالى فإن فيها انتروبيا أكبر من الحالة الابتدائية للصندوقين المنفصلين.

والقانون الثانى للديناميكا الحرارية له وضع مختلف نوعا عن وضع قوانين العلم الأخرى، كقانون نيوتن للجاذبية مثلا، لأنه لا يصح دائما، وإنما يصح فحسب فى الأغلبية العظمى من الحالات. واحتمال أن توجد كل جزيئات الغاز فى صندوقنا الأول فى نصف الصندوق فى وقت لاحق هو احتمال واحد إلى ملايين الملايين الكثيرة، ولكنه قد يحدث. على أنه لو كان عند المرء ثقب أسود فيما حوله، فإن هناك فيما يبدو طريقة أسهل نوعا لانتهاك القانون الثانى : إرم فحسب أسفل الثقب الأسود بعض مادة بها الكثير من الانتروبيا، مثل صندوق غاز. وسوف تقل الانتروبيا الكلية للمادة فى خارج الثقب الأسود. ويمكن للمرء بالطبع أن يقول رغم ذلك إن الانتروبيا الكلية، بما فى ذلك الانتروبيا داخل الثقب الأسود، لم تقل – ولكن حيث أنه ليس من وسيلة للنظر إلى داخل الثقب الأسود، فإننا لا نستطيع أن نرى قدر انتروبيا المادة التى فى داخله. وسيكون من الطيب إذن أن يكون هناك ملمح ما للثقب الأسود يستطيع به الملاحظون من خارجه معرفة ماله من انتروبيا، ويكون مما سيزيد قدره كلما سقطت المادة حاملة الانتروبيا داخل الثقب الأسود. وعقب الاكتشاف الموصوف أعلاه، من أن مساحة أفق الحدث تزيد كلما سقطت المادة فى الثقب الأسود، اقترح طالب بحث فى برينستون يدعى جاكوب بكنشتين أن مساحة أفق الحدث هى مقياس لانتروبيا الثقب الأسود. وعندما تسقط فى الثقب الأسود مادة حاملة للانتروبيا، فإن مساحة أفق الحدث فيه تزيد، بحيث أن حاصل جمع انتروبيا المادة فى خارج الثقب الأسود مع مساحة الآفاق لن يقل أبدا.

ويبدا أن هذا الاقتراح يمنع انتهاك القانون الثانى للديناميكا الحرارية فى معظم المواقف. على أنه كان ثمة خطأ قاتل. فلو كان للثقب الأسود انتروبيا، فإنه يجب أيضا أن يكون له حرارة. ولكن الجسم الذى له حرارة معينة يجب أن يبعث إشعاعا بمعدل معين. ومن أمور الخبرة المشتركة

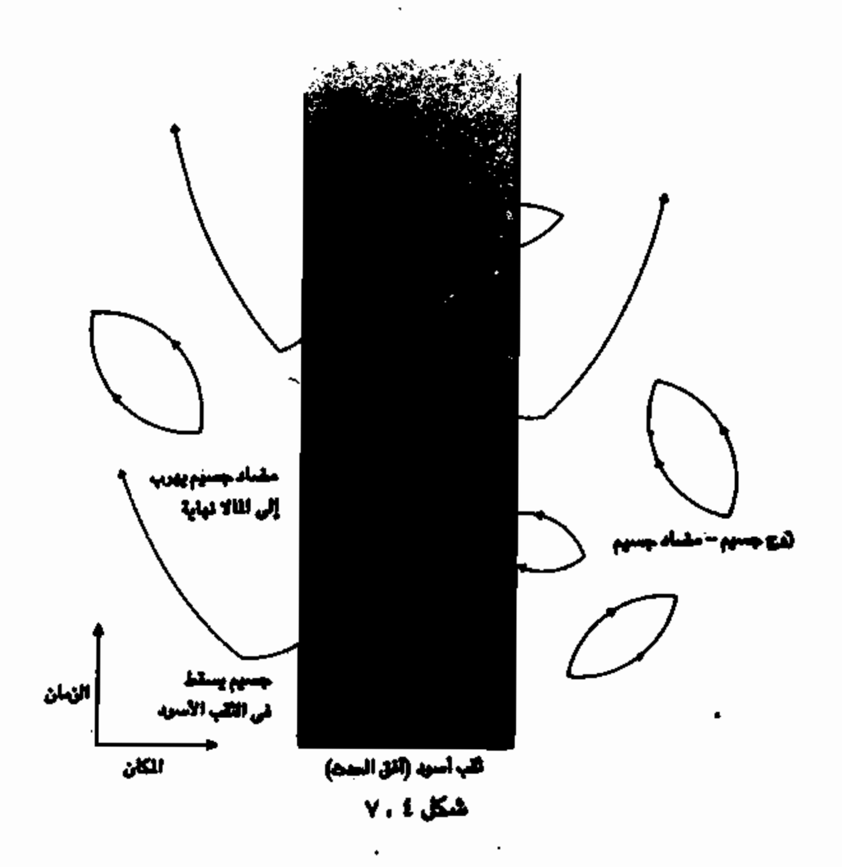
أنه إذا سخّن المرء قضيب محراك النار في النيران فإنه يتوهج محمرا ويبعث إشعاعا، على أن الأجسام وهي عند درجات حرارة أدنى تبعث أيضا إشعاعا؛ والمرء لا يلاحظه عادة لأن قدره صغير نوعا. وهذا الإشعاع مطلوب لمنع انتهاك القانون الثاني. وهكذا فإن الثقوب السوداء ينبغي أن تبعث إشعاعا. ولكن الثقوب السوداء حسب تعريفها ذاته هي أشياء يُفترض ألا تبعث شيئا . وهكذا بدا أن مساحة أفق الحدث للثقب الأسود لن يمكن النظر إليها على أنها ماله من انتروبيا. وفي ١٩٧٢ كتبت ورقة بحث مع براندون كارتر، وزميل أمريكي هو جيم باردين، بينا فيها أنه رغم أن ثمة مشابهات كثيرة بين الانتروبيا ومساحة أفق الحدث، فإن هناك تلك الصعوبة الظاهرة القاتلة. ويجب أن أقر أنني أثناء كتابة هذه الورقة كنت مدفوعا جزئيا. بانفعالي من بكنشتين، الذي أحسست أنه قد استغل اكتشافي لزيادة مساحة أفق الحدث. على أنه قد ثبت في النهاية أنه هو الذي كان أساسا على حق، ولكن ذلك كان على نحو لم يكن هو يتوقعه بالتأكيد.

فبينما كنت أزور موسكو في سبتمبر ١٩٧٣، ناقشت أمر الثقوب السوداء مع خبيرين سوفييتين مبرزين، هما ياكوف زلدوفتش والكسندر ستاروبينسكي. وأقنعاني بأنه حسب مبدأ عدم اليقين لميكانيكا الكم، فإن الثقوب السوداء الدّوارة ينبغي أن تخلق وتبعث جسيمات. وآمنت بحججهم على أسس فيزيائية، ولكني لم أكن أميل للطريقة الرياضية التي حسبوا بها الإشعاع. وهكذا أخذت أعمل في ابتكار تناول رياضي أفضل، قمت بتوصيفه في ندوة غير رسمية في أكسفورد في نهاية نوفمبر ١٩٧٣. وفي هذا الوقت كنت لم أقم بالحسابات اللازمة لمعرفة ما سيتم إشعاعه فعلا. وكنت أتوقع أن اكتشف وحسب الإشعاع الذي تنبأ به زلدوفتش وستاروبينسكي من الثقوب السوداء الدوارة. على أني عندما قمت بالحسابات، وجدت لدهشتي وانزعاجي، أنه حتى الثقوب السوداء غير الدوارة ينبغي فيما يظهر أن تخلق وتبعث جسيمات بسرعة ثابتة.. وفي أول الأمر اعتقدت أن هذا الإشعاع يدل على أن أحد التقريبات التي استخدمتها ليس صحيحا. وكنت أخشى أن لو عرف بكنشتين بهذا الأمر، فإنه سيستخدمه كحجة أخرى يدعم بها آراءه عن انتروبيا الثقوب السوداء، التي ما زلت لا أحبها. على أني كلما فكرت في الأمر بدا أن هذه التقريبات ينبغي أن تكون صحيحة. إلا أن ما أقنعني في النهاية بأن الإشعاع حقيقي هو أن طيف الجسيمات المنبعثة كان بالضبط الطيف الذي سيبعثه جسم ساخن، وأن الثقب الأسود يبعث جسيمات هي بالضبط بالمعدل الصحيح لمنع انتهاك القانون الثاني. ومنذ ذلك الوقت تكررت هذه الحسابات في عدد من الأشكال المختلفة بواسطة أفراد آخرين. وكلها أثبتت أن الثقب الأسود ينبغي أن يبعث جسيمات وإشعاعا كما لو كان جسما ساخنا له حرارة تعتمد فحسب على كتلة الثقب الأسود: فكلما زادت الكتلة، قلت الحرارة.

كيف يمكن أن يبدو أن الثقب الأسود يبعث جسيمات ونحن نعرف أن شيئا لا يمكن أن يهرب من خلال أفق حدثه؟ والإجابة، التي تخبرنا بها نظرية الكم، هي أن الجسيمات لا تأتي من داخل الثقب الأسود، ولكن من الفضاء «الخاوي» في الخارج مباشرة من أفق حدث الثقب الأسود! ويمكننا فهم ذلك بالطريقة التالية : إن ما نتصوره على أنه فضاء «خاوي» لا يمكن أن يكون خاويا بالكامل لأن هذا سيعني أن كل المجالات، مثل مجالات الجاذبية والكهرومغنطية، يجب أن تكون صفرا بالضبط. على أن قيمة مجال ما وسرعة تغيره في الزمان هما مثل الموضع والسرعة لجسيم ما : ويدل مبدأ عدم اليقين على أنه كلما زادت دقة ما يعرفه المرء عن أحد هذه المقادير، قلت دقة ما يمكن أن يعرفه عن الآخر. وهكذا فإنه في الفضاء الخاوي لا يمكن للمجال أن يكون ثابتا عند الصفر بالضبط، لأنه عندئذ سيكون له كلا من قيمة مضبوطة (صفر) ومعدل تغير مضبوط (صفر أيضا). ويجب أن يكون ثمة قدر أدنى معين من عدم اليقين، أو تذبذباب للكم، بالنسبة لقيمة المجال. ويمكن للمرء أن يتصور هذه التذبذبات كأزواج من جسيمات الضوء أو الجاذبية تظهر معا في وقت ما، وتتحرك منفصلة، ثم تلتقي معا ثانية ويُفنى أحدها الآخر. وهذه الجسيمات جسيمات تقديرية مثل الجسيمات التي تحمل قوة جاذبية الشمس: وبخلاف الجسيمات الحقيقية، فإنها لا يمكن رصدها مباشرة بكشاف للجسيمات. إلا أن تأثيراتها غير المباشرة، مثل التغيرات الصغيرة التي تحدث في طاقة مدارات الالكترونات في الذرة، يمكن قياسها وتتفق مع التنبؤات النظرية بدرجة ملحوظة من الدقة. ومبدأ عدم اليقين يتنبأ أيضا بأنه سيكون هناك أزواج تقديرية مشابهة من جسيمات المادة، مثل الالكترونات أو الكواركات. على أنه في هذه الحالة فإن أحد الفردين في الزوج يكون جسيما والآخر مضادا للجسيم (مضادات جسيمات الضوء والجاذبية هي مماثلة للجسيمات).

ولما كان من غير الممكن استحداث الطاقة من لا شئ، فإن أحد الشريكين في زوج الجسيم/ مضاد الجسيم سيكون له طاقة موجبة، ويكون للشريك الآخر طاقة سالبة. والجسيم ذي الطاقة السالبة محكوم عليه أن يكون جسيما تقديريا . قصير العمر؛ لأن الجسيمات الحقيقية لها دائما في الأوضاع الطبيعية طاقة موجبة. ولذا فإنه يجب أن يجدّ في طلب شريكه ويفنى معه. على أن الجسيم الحقيقي عندما يكون على مقربة من جسم ضخم الكتلة يكون له طاقة أقل مما لو كان بعيدا عنه، ذلك أن نقله بعيدا ضد شد جاذبية الجسم سيتطلب استهلاك طاقة. وفي الأحوال الطبيعية تظل طاقة الجسيم إيجابية، ولكن مجال الجاذبية من داخل الثقب الأسود يبلغ من القوة أنه حتى الجسيم الحقيقي يمكن أن تكون طاقته سالبة هناك. وإذن فإذا كان ثمة ثقب أسود موجود فإن من الممكن للجسيم التقديري ذي الطاقة السالبة أن يسقط لداخل الثقب الأسود ويصبح جسيما حقيقيا أو مضاد جسيم. وفي هذه الحالة لن يكون عليه أن يفنى مع شريكه. أما شريكه المنبوذ فإنه

قد يسقط أيضا لداخل الثقب الأسود. أو أنه بما له من طاقة موجبة، قد يهرب أيضا من جوار الثقب الأسود كجسيم حقيقي أو مضاد جسيم (شكل ٤ . ٧). وبالنسبة للراصد له عن بعد، سيبدو له أنه قد انبعث من الثقب الأسود. وكلما صغر الثقب الأسود، قصرت المسافة التي يكون على الجسيم ذي الطاقة السالبة أن يقطعها قبل أن يصبح جسيما حقيقيا، وهكذا تتزايد سرعة الإشعاع من الثقب الأسود هي وحرارته الظاهرية.



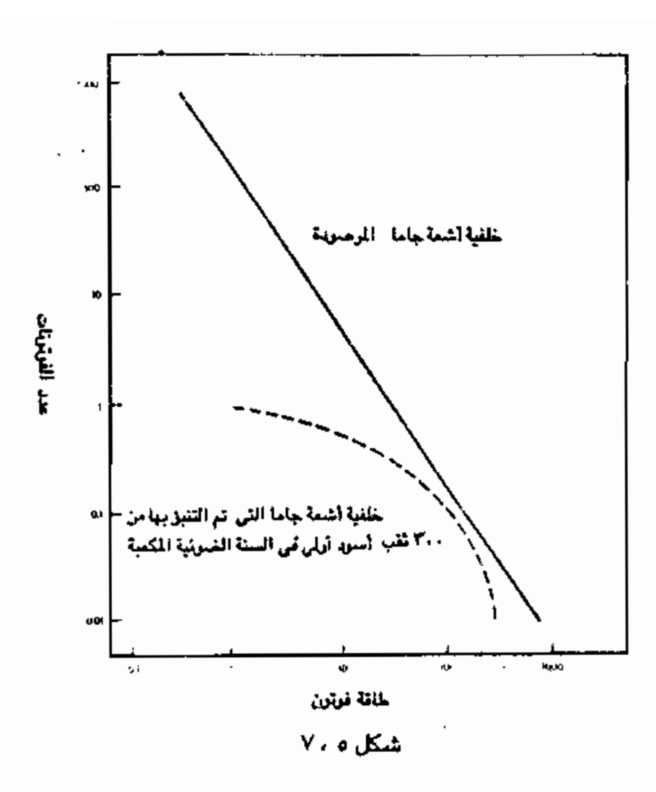
شكل ٤ . ٧

والطاقة الموجبة للإشعاع الخارج ستوازن بواسطة تدفق من جسيمات سالبة الطاقة لداخل الثقب الأسود. وحسب معادلة إينشتين $E = mc^2$ (حيث E هي الطاقة، و m هي الكتلة و c هي سرعة الضوء)، فإن الطاقة تتناسب مع الكتلة. وإذن فإن تدفق الطاقة السالبة لداخل الثقب الأسود سيقلل من كتلته. وإذا يفقد الثقب الأسود من كتلته، فإن مساحة أفق حدثه تصبح أصغر، ولكن هذا الإنقاص من انتروبيا الثقب الأسود يتم تعويضه وأكثر بواسطة انتروبيا الإشعاع المنبعث، وهكذا فإن القانون الثاني لا ينتهك قط.

وفوق ذلك، فإنه كلما صغرت كتلة الثقب الأسود، زادت حرارته. وهكذا فإن الثقب الأسود إذ يفقد من كتلته، فإن حرارته تزيد هي ومعدل الإشعاع منه، وبهذا فإنه يفقد من كتلته بمعدل أسرع. وليس من الواضح تماما ماذا يحدث عندما تصبح كتلة الثقب الأسود في النهاية بالغة الصغر، على أن أكثر تخمين معقول هو أنه سيختفي تماما في تفجر هائل نهائي مشع، يعادل انفجار ملايين القنابل الهيدروجينية.

والثقب الأسود الذي تكون كتلته ضعف كتلة الشمس لمرات معدودة ستكون حرارته أعلى من الصفر المطلق بقدر هو فقط جزء واحد من عشرة ملايين من الدرجة. وهذا أقل كثيرا من حرارة الإشعاع الميكروويفي الذي يملأ الكون (حوالى ٢.٧°) فوق الصفر المطلق، وهكذا فإن هذه الثقوب السوداء ستشع حتى بأقل مما تمتص. ولو كان مصير الكون، أن يظل يتمدد طول الوقت، فإن حرارة الإشعاع الميكروويفي ستقل في النهاية إلى ما هو أدنى من حرارة ثقب أسود كهذا، والذي سيبدأ وقتها في أن يفقد من كتلته. ولكن حتى آنذاك، فإن حرارته سيبلغ من انخفاضها أن تبخره تبخرا كاملا سيتطلب ما يقرب من مليون مليون مليون مليون مليون مليون مليون مليون مليون مليون سنة (١ يعقبه ستة وستون صفرا). وهذا أطول كثيرا من عمر الكون، الذي يبلغ فقط عشرة أو عشرين ألف مليون سنة (١ أو ٢ يعقبها عشرة أصفار). ومن الناحية الأخرى، فكما ذُكر في الفصل السادس، قد يكون ثمة ثقوب سوداء بدائية كتلتها أصغر كثيرا وقد صنعت من تقلص مناطق الكون غير المنتظمة في مراحله المبكرة جدا. ومثل هذه الثقوب السوداء سيكون لها درجات حرارة أعلى كثيرا وستبعث الإشعاع بمعدل أكبر جدا. والثقب الأسود البدائي الذي تكون كتلته الابتدائية ألف مليون طن سيكون عمره مساويا بالتقريب لعمر الكون. والثقوب السوداء البدائية ذات الكتلة الابتدائية الأصغر من هذا الرقم ستكون بالفعل قد تبخرّت بالكامل، أما تلك ذات الكتلة الأكبر قليلا فإنها ستظل تبعث الإشعاع في شكل أشعة إكس و أشعة جاما. وأشعة إكس وجاما هذه تشبه موجات الضوء، إلا أن طول موجتها أقصر كثيرا. ومثل هذه الثقوب لا تكاد تستحق لقب «السوداء»: فهي في الحقيقة «بيضاء ساخنة» وتبعث بالطاقة بمعدل يقرب من عشرة آلاف ميجاوات.

وثقب أسود واحد كهذا يمكن أن يشغّل عشر محطات كهرباء كبيرة لو أمكننا فقط التحكم في قوته. على أن هذا أمر صعب نوعا : فالثقب الأسود ستكون له كتلةجبل مضغوطة فيما يقل عن جزء من مليون المليون من البوصة، أي حجم نواة ذرة! ولو كان لديك أحد هذه الثقوب السوداء على سطح الأرض، فلن يكون ثمة طريقة لإيقافه عن أن يهوي من خلال أرضية البيت ليصل إلى مركز الأرض. وسوف يتذبذب خلال الأرض ليرتد ثانية، حتى يستقر في النهاية في القرار عند المركز وإذن فإن المكان الوحيد الذي يوضع فيه ثقب أسود كهذا، والذي يمكن فيه للمرء أن يستخدم الطاقة



شكل ٥ . ٧

التي يبعثها، سيكون مدارا حول الأرض – والطريقة الوحيدة التي يمكن للمرء أن يصل بها إلى أن يجعله في مدار حول الأرض هي أن يجذبه هناك بأن يقطر أمامه كتلة كبيرة، بما يشبه الجزرة التي توضع أمام الحمار. ولا يبدو هذا كاقتراح جد عملي، وعلى الأقل ليس في المستقبل القريب.

ولكن حتى إذا لم نتمكن من التحكم في الإشعاع المنبعث من هذه الثقوب السوداء البدائية، فما هي فرصة رصدنا لها؟ يمكننا أن نبحث عن أشعة جاما التي تبعث بها الثقوب السوداء البدائية أثناء معظم زمان حياتها. ورغم أن الإشعاع من معظمها سيكون ضعيفا جدا لأنها بعيد جدا، إلا أن مجموع ما يصدر عنها كلها قد يكون مما يمكن الكشف عنه. ونحن نرصد بالفعل خلفية كهذه من أشعة جاما: وشكل ٥ . ٧ يبين كيف أن شدتها المرصودة تختلف عند الترددات المختلفة (عدد الموجات لكل ثانية). على أن هذه الخلفية كان يمكن أن تكون، ويحتمل أنها كانت، متولدة عن عمليات أخرى غير الثقوب السوداء البدائية. والخط المتقطع في شكل ٥ . ٧ يبين كيف أن شدة أشعة جاما ينبغي أن تختلف مع اختلاف تردد أشعة جاما المنبعثة من الثقوب السوداء البدائية لو كان هناك في المتوسط ٣٠٠ ثقب لكل سنة ضوئية مكعبة. ويستطيع المرء إذن أن يقول إن مشاهدات خلفية أشعة جاما لا تمد بأي برهان «إيجابي» على الثقوب السوداء البدائية، ولكنها تخبرنا بالفعل أنه

فى المتوسط لا يمكن أن يكون هناك أكثر من ٣٠٠ ثقب فى سنة ضوئية مكعبة فى الكون. وهذا الحد يعني أن الثقوب السوداء البدائية يمكن فى أقصى الحدود أن تؤلف واحد فى المليون من المادة التى فى الكون.

ومع هذه الندرة للثقوب السوداء البدائية، فإنه قد يبدو من غير المحتمل أن سيكون أحدها قريبا لنا بما يكفى لرصده كمصدر منفرد لأشعة جاما. ولكن حيث أن الجاذبية ستشد الثقوب السوداء البدائية إلى أى مادة، فإنها ينبغى أن تكون أكثر شيوعا فى المجرات ومن حولها. وهكذا فرغم أن خلفية أشعة جاما تنبئنا أنه لا يمكن أن يوجد فى المتوسط أكثر من ٣٠٠ ثقب أسود بدائى لكل سنة ضوئية مكعبة، إلا أنها لا تخبرنا بشئ عن مدى ما قد يكون من شيوعها فى مجرتنا نفسها. فلو كانت مثلا أكثر شيوعا عن ذلك بمليون مرة، فإن أقرب ثقب أسود لنا سيكون إذن فيما يحتمل على مسافة تقرب من ألف مليون كيلو متر، أو ما يقرب من بُعْد بلوتومنا، وهو أبعد الكواكب المعروفة. وعند هذه المسافة سيظل من الصعب جدا الكشف عن الإشعاع المطرد لأحد الثقوب السوداء، حتى لو كان من عشرة آلاف ميجاوات. وحتى يمكن رصد ثقب أسود بدائى سيكون على المرء أن يكشف عن كمات متعددة لأشعة جاما تأتى من نفس الاتجاه خلال مدى معقول من الزمن، كأسبوع واحد مثلا. وإلا، فإنها قد تكون ببساطة جزءا من الخلفية. ولكن مبدأ كم بلانك يخبرنا أن كل كم لأشعة جاما له طاقة كبيرة جدا، لأن أشعة جاما لها تردد عالى جدا، وهكذا فإن الأمر لن يتطلب كمات كثيرة لإشعاع ما يبلغ حتى عشرة آلاف ميجاوات. وحتى يمكن رصد تلك القلة التى تأتى من بعد مثل بعد بلوتو سيتطلب الأمر كشافا لأشعة جاما أكبر من أى من الكشافات التى بنيت حتى الآن. وفوق ذلك فإن الكشاف ينبغى أن يكون فى الفضاء، لأن أشعة جاما لا تستطيع اختراق الغلاف الجوى.

وبالطبع، لو أن ثقبا أسود على بُعْد مثل بعد بلوتو وصل إلى نهاية عمره وانفجر، فسيكون من السهل الكشف عن التفجر النهائى للإشعاع. ولكن لو أن الثقب الأسود ظل يشع طيلة آخر عشرة أو عشرين ألف مليون سنة، فإن فرصة وصوله إلى نهاية عمره خلال السنوات المعدودة القادمة بدلا من الملايين العديدة من السنوات فى الماضى أو المستقبل، لهى حقا فرصة صغيرة نوعا! وهكذا فإنه حتى تكون ثمة فرصة معقولة لرؤية أحد الانفجارات قبل أن تنفد منحة بحثك، سيكون عليك أن تجد طريقة للكشف عن أى انفجارات خلال مدى ما يقرب من سنة ضوئية واحدة. وستظل لديك مشكلة الاحتياج إلى كشاف كبير لأشعة جاما لرصد العديد من كمات إشعاع جاما الآتية من الانفجار. على أنه فى هذه الحالة، لن يكون من الضرورى تحديد أن كل الكمات قد أتت من نفس الاتجاه: فسيكون كافيا رصد أنها كلها قد وصلت خلال فترة زمنية قصيرة جدا حتى

يكون المرء واثقا على نحو معقول من أنها تأتي من التفجر نفسه.

وكشاف أشعة جاما الذي يمكن أن تكون له القدرة على الكشف عن الثقوب السوداء البداية هو غلاف الأرض الجوي بأسره. (وعلى أي حال فإن من غير المحتمل أننا نستطيع بناء كشاف أكبر!) وعندما يصطدم كم أشعة جاما ذي الطاقة العالية بالذرات التي في غلافنا الجوي، فإنه يخلق أزواجا من الالكترونات والبوزيترونات (مضادات الالكترونات). وعندما تصطدم هذه بذرات أخرى فإنها بدورها تخلق أزواجا أكثر من الالكترونات والبوزيترونات، وهكذا يلقى المرء ما يسمى بوابل الكتروني electronic shower . والنتيجة هي نوع من الضوء يسمى إشعاع سيرنكوف، ويستطيع المرء إذن أن يكشف عن تفجرات أشعة جاما بالبحث عن ومضات ضوء في سماء الليل. وبالطبع فإن هناك عددا من الظواهر الأخرى، مثل البرق وانعكاسات ضوء الشمس عن الأقمار الصناعية الهاوية هي والبقايا التي تدور في أفلاك، كلها يمكن أيضا أن تعطي ومضات في السماء. ويمكن المرء تمييز تفجرات أشعة جاما عن مثل هذه التأثيرات برصد الومضات في نفس الوقت من موضعين أو أكثر يبتعد أحدهما عن الآخر بعدا واسعا إلى حد ما. وقد أُجري بحث كهذا بواسطة عالمين من دبلن هما نيل بورتر وتريفور ويكس، واستخدما لذلك تلسكوبات في أريزونا، وقد وجدا عددا من الومضات، ولكن أيا منها لم يكن مما يمكن إرجاعه على نحو مؤكد إلى تفجرات أشعة جاما من الثقوب السوداء البدائية.

وحتى لو ثبت أن البحث عن الثقوب السوداء البدائية هو سلبي، بمثلما قد يبدو أنه هكذا، فإنه مع ذلك سيعطينا معلومات هامة عن أطوار الكون المبكرة جدا. ولو كان الكون المبكر في حالة فوضى أو عدم انتظام، أو كان ضغط المادة منخفضا، فإن المرء ليتوقع له أنه سيُنتج عددا من الثقوب السوداء البدائية أكثر كثيرا من الحد الذي حددته من قبل مشاهداتنا عن خلفية أشعة جاما. ولا يستطيع المرء أن يفسر عدم وجود أعداد قابلة للرصد من الثقوب السوداء البدائية إلا لو كان الكون المبكر مستويا ومتسقا وعالي الضغط.

وفكرة الإشعاع من الثقوب السوداء هي أول مثال لتنبؤ يعتمد بطريقة جوهرية على كلا النظريتين العظميتين لهذا القرن، النسبية العامة وميكانيكا الكم. وقد أثارت في أول الأمر معارضة جمة لأنها زعزعت وجهة النظر الموجودة: «كيف يمكن لثقب أسود أن يشع أي شيء؟». وعندما أعلنت أول مرة نتائج حساباتي في مؤتمر بمعمل روذرفورد - أبلتون بالقرب من أكسفورد، قوبلت بارتياب عام. وفي نهاية حديثي زعم رئيس الجلسة جون ج. تايلور بكلية الملك في لندن، أنه كله حديث هراء. بل إنه كتب ورقة بحث بهذا المعنى. على أن معظم الناس في النهاية، بما فيهم جون تايلور، وصلوا

إلى استنتاج أن الثقوب السوداء يجب أن تشع مثل الأجسام الساخنة إذا كانت أفكارنا عن النسبية العامة وميكانيكا الكم صحيحة. وهكذا، فرغم أننا لم نتمكن بعد من العثور على ثقب أسود بدائي، إلا أن ثمة اتفاقا عاما على أننا لو عثرنا عليه، فيجب أن يكون بحيث يشع الكثير من أشعة جاما وأشعة إكس.

ووجود إشعاع من الثقوب السوداء يبدو أنه يدل على أن التقلص بالجاذبية ليس نهائيا وليس غير قابل للعكس بمثل ما كنا نعتقده ذات مرة. ولو سقط عالم فلك في ثقب أسود، فإن كتلة الثقب الأسود ستزيد، على أنه في النهاية ستعاد إلى الكون الطاقة المكافئة لهذه الكتلة الإضافية في شكل إشعاع. وهكذا فإن عالم الفلك، بمعنى ما، «سنتكرر دورته». على أن هذا نوع بائس من الخلود، لأن أي مفهوم شخصي عن الزمان بالنسبة لعالم الفلك سينتهي بما يكاد يكون مؤكدا عندما يتمزق بددا داخل الثقب الأسود! وحتى أنواع الجسيمات التي يشعها الثقب الأسود في النهاية ستكون على نحو عام مختلفة عن تلك التي كانت تكوّن عالم الفلك: والملمح الوحيد الذي سيبقى من عالم الفلك سيكون كتلته أو طاقته.

والتقريبات التي استخدمتها لاستنتاج حدوث إشعاع من الثقوب السوداء ينبغي أن تكون مما يصلح العمل عندما يكون للثقب الأسود كتلة أعظم من جزء من الجرام. على أنها ستنهار عند نهاية عمر الثقب الأسود عندما تصبح كتلته صغيرة جدا. ويبدو أن أكثر النتائج احتمالا هو أن الثقب الأسود سيختفي فحسب، على الأقل من منطقتنا في الكون، آخذا معه عالم الفلك وأي مفردة قد تكون من داخل الثقب، لو كان هناك حقا وجود لإحداها. وقد كان هذا بمثابة الإشارة الأولى إلى أن ميكانيكا الكم قد تزيل المفردات التي كانت النسبية العامة قد تنبأت بها. على أن المناهج التي كنت استخدمها أنا والأفراد والآخرون في ١٩٧٤ لم تكن تستطيع الإجابة عن أسئلة من مثل ما إذا كانت المفردات هي مما سيحدث في جاذبية الكم. وابتداءا من ١٩٧٥ فصاعدا بدأتُ إذن في تطوير تناول أقوى لجاذبية الكم يتأسس على فكرة ريتشارد فينمان عن حاصل جمع التواريخ Sum over histories . وما يقترحه هذا التناول من إجابات عن أصل ومصير الكون ومحتوياته، من مثل علماء الفلك، سيتم توصيفه في الفصلين التاليين. وسوف نرى أنه رغم ما يضعه مبدأ عدم اليقين من قيود على دقة تنبؤاتنا كلها، إلا أنه في الوقت نفسه قد يزيل ما يحدث من عجز أساسي عن التنبؤ بالنسبة لمفردة المكان – الزمان.

ooo

٨

أصل ومصير الكون

نظرية إينشتين من النسبية العامة، هي في ذاتها تتنبأ بأن المكان – الزمان يبدأ عند مفردة الانفجار الكبير وسوف يصل إلى نهايته عند مفردة الانسحاق الكبير (إذا تقلص الكون كله ثانية)، أو عند مفردة من داخل ثقب أسود (لو تقلصت منطقة محددة، مثل أحد النجوم). وأي مادة ستهوى إلى داخل الثقب ستتدمر عند المفردة، ولن يظل محسوسا في الخارج إلا تأثير جاذبية كتلتها. ومن الناحية الأخرى،، عندما يؤخذ في الحسبان تأثيرات الكم، فإنه يبدو أن كتلة أو طاقة المادة ستعاد في النهاية إلى باقي الكون، وأن الثقب الأسود هو وأي مفردة من داخله، سوف يتبخر بعيدا ليختفي في النهاية. هل يكون لميكانيكا الكم تأثير درامي مساو لذلك على مفردتي الانفجار الكبير والانسحاق الكبير؟ ما الذي يحدث حقا أثناء الأطوار المبكرة جدا أو المتأخرة جدا من الكون، عندما تكون مجالات الجاذبية من القوة بحيث لا يمكن تجاهل تأثيرات الكم؟ هل للكون حقيقة بداية أو نهاية؟ وإذا كان الأمر كذلك، فكيف تبدوان؟

في أثناء السبعينيات ظلها كنت أدرس أساسا الثقوب السوداء، ولكنني في ١٩٨١ تيقظ اهتمامي ثانية بأسئلة حول أصل ومصير الكون وذلك عندما حضرت مؤتمرا عن الكونيات نظمه الجيزويت في الفاتيكان. والكنيسة الكاثوليكية قد ارتكبت خطأ سيئا في حق جاليليو عندما حاولت أن تفرض كلمتها في مسألة علمية، معلنة أن الشمس تدور حول الأرض. والآن، بعد مرور قرون، قررت الكنيسة أن تدعو عددا من الخبراء لينصحونها فيما يتعلق بعلم الكون. وفي نهاية المؤتمر شرف المساهمون بلقاء مع البابا. وكان موضوع حديثي في المؤتمر هو عن إمكان أن يكون المكان – الزمان متناهيا ولكنه بلا حد، الأمر الذي يعني أن ليس له بداية.

وحتى أفسر ما لدي أنا وأناس آخرين من أفكار عن كيف قد تؤثر ميكانيكا الكم في أصل ومصير الكون، فإن من الضروري أولا فهم تاريخ الكون المقبول بصفة عامة، حسب ما يُعرف

«بنموذج الانفجار الكبير الساخن». ويفترض هذا أن الكون بوصفه نموذج من نماذج فريدمان بما يرتد مباشرة حتى الانفجار الكبير. وفي مثل هذه النماذج يجد المرء أنه إذ يتمدد الكون، فإن أى مادة فيه أو إشعاع يصبح أبرد. (عندما يتضاعف حجم الكون، تنخفض حرارته إلى النصف). ولما كانت الحرارة مجرد مقياس لمتوسط طاقة – أو سرعة – الجسيمات، فإن تبريد الكون هذا يكون له تأثير جوهرى على مافيه من مادة. وعند درجات الحرارة العالية جداً، تتحرك الجسيمات فيما حولها بسرعة يبلغ من قدرها أن الجسيمات تستطيع أن تفر من أى تجاذب فيما بينها يرجع إلى القوى النووية أو الكهرومغنطية، ولكنها إذ تبرد فإن المرء يتوقع أن هذه الجسيمات سيجذب أحدها الآخر لتبدأ فى التجمع ثانية. وفوق ذلك فإنه حتى نوع الجسيمات التى توجد فى الكون سيعتمد على درجة الحرارة. ففى درجات الحرارة العالية بما يكفى، يكون للجسيمات قدر كبير من الطاقة بحيث أنها كلما ارتطمت نتج عن ذلك أزواج كثيرة مختلفة من الجسيمات / مضادات الجسيمات – ورغم أن بعض هذه الجسيمات سيفنى إذ يصطدم بمضادات الجسيمات، إلا أنها سيتم إنتاجها بسرعة أكبر مما تستطيع أن تفنى به. على أنه فى درجات الحرارة الأكثر انخفاضا، إذ تكون الجسيمات المتصادمة ذات طاقة أقل، فإن سرعة إنتاج أزواج الجسيمات / مضادات الجسيمات سوف تقل – وتصبح السرعة التى تفنى بها أكبر من سرعة إنتاجها.

وفيما يُعتقد، فإن الكون وقت الانفجار الكبير نفسه يكون حجمه صفرا، وبهذا فإنه يكون ساخنا على نحو لا متناهٍ. ولكن الكون إذ يتمدد، فإن حرارة الإشعاع تقل. وبعد الانفجار الكبير بثانية واحدة، تكون الحرارة قد هبطت لما يقرب من عشرة آلاف مليون درجة. وهذا يبلغ ما يقرب من ألف ضعف لدرجة الحرارة فى مركز الشمس، ولكن درجات الحرارة العالية هكذا يتم الوصول إليها فى انفجارات القنبلة الهيدروجينية. ويكون ما يحتوى الكون عليه فى هذا الوقت هو فى الغالب فوتونات، والكترونات، ونيوترينات neutrinos (جسيمات خفيفة جدا لا تتأثر إلا بالقوى الضعيفة والجاذبية)، ومضادات جسيماتها، مع بعض البروتونات والنيوترونات. وإذ يستمر الكون فى التمدد والحرارة فى الانخفاض، فإن السرعة التى يتم بها إنتاج أزواج الالكترون / مضاد الالكترون بالاصطدامات ستنخفض إلى أقل من معدل تدميرها بالإفناء. وهكذا فإن معظم الالكترونات ومضادات الالكترونات سيفنى أحدها بالآخر لتنتج المزيد من الفوتونات، ولا تترك إلا عددا قليلا من الالكترونات الباقية. على أن النيوترينات ومضاداتها لا يفنى أحدها بالآخر، لأن هذه الجسيمات لا تتفاعل مع نفسها ومع الجسيمات الأخرى إلا على نحو ضعيف جدا. وهكذا فإنها ينبغى أن تظل موجودة اليوم فيما حولنا. ولو أمكننا رصدها، فإنها ستمدنا باختبار جيد لهذه الصورة عن مرحلة الكون المبكرة الساخنة جدا. ولسوء الحظ، فإن طاقاتها فى الوقت الحاضر ستكون أكثر انخفاضا

من أن نتمكن من رصدها مباشرة. على أنه إذا كانت النيوترينات ليست بلا كتلة، وإنما لها ما يخصها من كتلة صغيرة، كما يستدل على ذلك من تجربة روسية غير مؤكدة أجريت في ١٩٨١، فإننا قد يمكننا الكشف عنها بطريقة غير مباشرة: ومن الممكن أنها شكل من «المادة المظلمة» مثل تلك التي سبق ذكرها، ولها قوة شد بالجاذبية تكفي لوقف تمدد الكون وتسبب تقلصه ثانية.

وبعد الانفجار الكبير بما يقرب من مائة ثانية، تكون الحرارة قد انخفضت إلى ألف مليون درجة، وهي درجة الحرارة من داخل أسخن النجوم. وعند هذه الحرارة فإن البروتونات والنيوترونات لا يصبح لديها بعد الطاقة الكافية للهرب من جاذبية القوة النووية القوية، وتبدأ في الاتحاد معا لإنتاج نويات ذرات الديوتريوم (الهيدروجين الثقيل)، التي تحوي بروتونا واحدا، ونيوترونا واحدا. ونويات الديوتريوم تتحد بعدها بالمزيد من البروتونات والنيوترونات لتصنع نويات الهليوم، التي تحوي بروتونان ونيوترونان، وتصنع أيضا كميات صغيرة من عنصرين أثقل هما الليثيوم والبرليوم.. ويمكن للمرء أن يحسب أنه في نموذج الانفجار الكبير الساخن، سيتحول ما يقرب من ربع البروتونات والنيوترونات إلى نويات هيليوم، وذلك مع قدر صغير من الهيدروجين الثقيل والعناصر الأخرى. وتتحلل النيوترونات الباقية إلى بروتونات، هي نوايات ذرات الهيدروجين العادية.

هذه الصورة من طور مبكر ساخن للكون طرحها لأول مرة العالم جورج جاموف في ورقة بحث شهيرة كتبها ١٩٤٨ مع أحد طلبته وهو رالف ألفر. ولما كان لجاموف حس فكاهي إلى حد بعيد – فقد حث العالم النووي هانز بيث أن يضيف اسمه إلى الورقة لتصبح قائمة مؤلفيها «ألفر، وبيث، وجاموف» مشابهة لحروف الثلاثة الأولى للأبجدية الإغريقية، ألفا، وبيتا، وجاما: مما يلائم على وجه الخصوص ورقة بحث عن بدأ الكون! وقد وصلوا في ورقة البحث هذه إلى تنبؤ رائع بأن الإشعاع (في شكل فوتونات) من أطوار الكون المبكرة الساخنة جدا ينبغي أن يكون باقيا اليوم فيما حولنا، إلا أن حرارته قد هبطت إلى درجات معدودة فحسب فوق الصفر المطلق (– ٢٧٣° م). وكان هذا الإشعاع هو ما وجده بنزياس وويلسون في ١٩٦٥. وعندما كتب ألفر وبيث وجاموف ورقة بحثهم، لم يكن يعرف الكثير عن التفاعلات النووية للبروتونات والنيوترونات. وهكذا فإن التنبؤات التي صنعت عن نسب العناصر المختلفة في الكون المبكر كانت غير دقيقة نوعا، إلا أن هذه الحسابات أعيدت في ضوء معرفة أفضل وهي الآن تتفق على نحو جيد جدا مع مشاهداتنا. وبالإضافة، فإن من الصعب جدا أن يُفسَّر بأي طريقة أخرى السبب في أن الهليوم ينبغي أن يوجد بكثرة هكذا في الكون. وإذن فإننا واثقون تماما من أن لدينا الصورة الصحيحة، على الأقل بما يرجع وراءً إلى ما يقرب من الثانية بعد الانفجار الكبير.

وفي خلال ساعات معدودة فحسب من الانفجار الكبير، يكون إنتاج الهليوم والعناصر الأخرى قد توقف. وبعد ذلك، فإن الكون طيلة المليون سنة التالية أو ما يقرب من ذلك، يواصل وحسب تمدده، دون أن يحدث الشئ الكثير. وفي النهاية، فإنه ما إن تنخفض درجة الحرارة إلى آلاف معدودة من الدرجات، ولا يصبح بعد لدى الالكترونات والنويات الطاقة الكافية للتغلب على ما يكون بينها من جذب كهرومغنطي، فإنها تبدأ في الاتحاد لتكوين الذرات. ويستمر الكون ككل في أن يتمدد ويبرد، على أنه في المناطق التي تكون أكثر كثافة قليلا عن المتوسط، فإن سرعة التمدد تصبح أبطأ بواسطة الشد الإضافي للجاذبية. ويؤدي هذا في النهاية إلى توقف التمدد في بعض المناطق ويجعلها تبدأ في التقلص ثانية. وأثناء تقلصها، فإن شد جاذبية المادة التي من خارج هذه المناطق قد يجعلها تبدأ في الدوران هونا. وإذ تصبح المنطقة المتقلصة أصغر، فإنها تلف بأسرع - تماما مثل المتزحلقين الذين يلفون على الجليد إذ تزيد سرعة لفهم عندما يضمون أذرعهم للداخل. وفي النهاية، عندما تصبح المنطقة صغيرة بما يكفي، يصبح دورانها سريعا بما يكفي للتوازن مع شد الجاذبية، وبهذه الطريقة تتم ولادة المجرات الدوارة التي تشبه القرص. أما المناطق الأخرى التي لا يتفق أنها تكتسب الدوران، فإنها تصبح أشياءً بيضاوية الشكل تسمى المجرات الاهليلجية الناقص. وفي هذه المجرات تتوقف المنطقة عن التقلص لأن الأجزاء المفردة من المجرة تلف بثبات حول مركزها، ولكن المجرة ككل ليس لها دوران.

وإذ يمضي الوقت، ينقسم غاز الهيدروجين والهليوم في المجرات إلى سحب أصغر تتقلص بتأثير جاذبيتها هي نفسها. وإذ تنكمش هذه، وتصطدم الذرات من داخلها إحداها بالأخرى، تزيد حرارة الغاز حتى يصبح في النهاية ساخنا بما يكفي لبدء تفاعلات نووية اندماجية. وهذه التفاعلات تحول الهيدروجين إلى المزيد من الهليوم، فتنبعث الحرارة لتزيد من الضغط، وهكذا فإنه يوقف انكماش السحب لأبعد من ذلك. وتظل السحب مستقرة على هذا الحال زمنا طويلا كنجوم من مثل شمسنا، وهي تحرق الهيدروجين إلى هليوم وتشع الطاقة الكامنة كحرارة وضوء. والنجوم ذات الكتلة الاكبر تحتاج إلى أن تكون أسخن حتى توازن شد جاذبيتها الأقوى، الأمر الذي يجعل تفاعلات الاندماج النووي تجري بسرعة أكبر بكثير بحيث تستهلك هذه النجوم ما بها من هيدروجين في زمن قليل بما يماثل مائة مليون سنة. وبعدها فإنها تنكمش قليلا، وإذ تسخن أكثر، فإنها تبدأ في تحويل الهليوم إلى عناصر أثقل مثل الكربون أو الأوكسيجين. على أن هذا لا ينتج عنه انطلاق طاقة أكبر كثيرا، وهكذا تحدث أزمة، كما تم توصيفها في فصل الثقوب السوداء. وما يحدث بعد ذلك ليس واضحا تماما، ولكن يبدو من المحتمل أن المناطق المركزية في النجم تتقلص إلى حالة كثيفة جدا، مثل نجم النيوترون أو الثقب الأسود. والمناطق الخارجية من النجم قد تُفجر أحيانا

في انفـجـار هائل يسـمى سـوبرنوفـا Super Nova، فـيكون أكـثـر تألقـا من كل النجـوم الأخـرى في مجرته. وبعض العناصر الأثقل التي يتم إنتاجها قرب نهاية عمر النجم يقذف بها ثانية إلى الغاز في المجرة، وتمد ببعض المادة الخام للجيل التالي من النجوم. وشمسنا نحن تحوى ما يقرب من ٢ فى المائة من هذه العناصـر الأثقل، لأنهـا نجم من جـيل ثانٍ أو ثالث، تكوّن منذ مـا يقـرب من خمسـة آلاف مليون سنة من سحـابة من غـاز دوّار تحـوى بقـايا السـوبرنوفـات الأقـدم. ومعظم الغـاز فى هذه السحابة راح ليكوّن الشمس، أو هو قد نُفخ بعيدا، إلا أن كمية صغيرة من العناصر الأثقل تتجمع معا لتشكل الأجسام التى تدور الآن حول الشمس ككواكب من مثل الأرض.

والأرض كانت أصلا ساخنة جدا وبلا أي غلاف جوى. وبمرور الوقت بردت واكتسبت غلافا جويا من انبعاث الغازات من الصخور. وهذا الغلاف الجوى المبكر لم يكن مما يمكننا البقاء أحياء فيه. فهو لا يحتوى على أوكسجين، وإنما يحوى الكثير من الغازات الأخرى السامة لنا، مثل كبريتيد الهيدروجين (الغاز الذى يعطى للبيض العفن رائحته). على أن ثمة آشكالا أخرى من الحياة البدائية يمكن أن تزدهر فى ظروف كهذه. ومن المعتقد أنها قد نشأت فى المحيطات، ربما كنتيجة لاتحاد الذرات صدفة فى بنيات أكبر، تسمى الجزيئات الكبرى، لها القدرة على تجميع الذرات الأخرى فى المحيط فى بنيات مماثلة. وبهذا فإنها تكون قد نسخت نفسها وتكاثرت. وتحدث فى بعض الحالات أخطاء فى التناسخ. وهذه الأخطاء هى فى معظمها بحيث لا يستطيع الجزىء الكبير الجديد أن ينسخ نفسه وفى النهاية فإنه يتدمر. إلا أن القليل من هذه الأخطاء ينتج منه جزيئات كبرى جديدة هى حتى أفضل فى نسخ ذاتها. وبهذا فإنها يكون لها أفضلية وتنزع إلى أن تحل محل الجزيئات الكبرى الأصلية. وبهذه الطريقة تبدأ عملية تطور تؤدى إلى نشأة كائنات ناسخة لذاتها هى أكثر وأكثر تعقدا. وتستهلك الأشكال البدائية الأولى للحياة مواد شتى بما فى ذلك كبريتيد الهدروجين، وتطلق الأوكسجين. ويغير هذا تدريجيا من الغلاف الجوى ليصل إلى التركيب الذى هو عليه اليوم، فيسمح بنشأة الأشكال الأعلى من الحياة مثل السمك، والزواحف، والثدييات، وفى النهاية الجنس البشرى.

وهذه الصورة للكون الذى يبدأ ساخنا جدا ثم يبرد وهو يتمدد تتفق مع كل دليل المشاهدات الذى لدينا فى وقتنا هذا. ومع كل فإنها تخلف عددا من الأسئلة المهمة بلا جواب.

(١) لماذا كان الكون المبكر ساخنا للغاية؟

(٢) لماذا يكون الكون متسقا للغاية على المقياس الكبير؟ لماذا يبدو متماثلا من كل نقط

المكان وفى كل الاتجاهات؟ ولماذا بالذات، تكون حرارة إشعاع الخلفية الميكروويفية متماثلة تقريبا عندما ننظر من الاتجاهات المختلفة ؟ والأمر يبدو نوعا وكأنه توجيه أسئلة امتحان لعدد من الطلبة. فلو أنهم جميعا أعطوا الإجابة نفسها بالضبط، فإنه يمكنك أن تتأكد إلى حد كبير من أنهم قد اتصل أحدهم بالآخر. على أنه فى المثال الذى وُصف أعلاه، لن يكون ثمة وقت كاف منذ الانفجار الكبير لأن يصل الضوء من منطقة بعيدة إلى أخرى، حتى ولو كانت المناطق فى الكون المبكر قريبة معا. وحسب نظرية النسبية، فإنه إذا كان الضوء لا يستطيع الوصول من منطقة لأخرى، فما من معلومة أخرى ستتمكن من ذلك. وهكذا لن تكون ثمة طريقة يمكن بها المناطق المختلفة من الكون المبكر أن تصل إلى أن يكون لإحداها نفس حرارة الأخرى إلا إذا اتفق لسبب غير مفهوم أنها بدأت أولا بنفس الحرارة.

(٣) لماذا بدأ الكون وله تقريبا نفس معدل التمدد الحرج الذى يفصل الأنماط التى تتقلص ثانية عن تلك التى تواصل التمدد للأبد، بحيث أنه حتى فى وقتنا هذا، بعد مضى عشرة آلاف مليون سنة، ما زال يتمدد بمعدل التمدد الحرج تقريبا؟ ولو كان معدل التمدد بعد ثانية واحدة من الانفجار الكبير أصغر حتى بجزء واحد من مائة ألف مليون مليون، لكان الكون قد تقلص ثانية قبل أن يصل قط إلى حجمه الحالى.

(٤) ورغم أن الكون بالمقياس الكبير جد متسق ومتجانس، إلا أنه يحوى أوجه عدم انتظام على النطاق المحلى، مثل النجوم والمجرات. ومن المعتقد أن هذه قد نشأت عن اختلافات صغيرة فى كثافة الكون المبكر من منطقة لأخرى. ما أصل هذه التذبذبات فى الكثافة؟

ooo

ونظرية النسبية العامة، بذاتها، لا تستطيع تفسير هذه المعالم، أو أن تجيب عن هذه الأسئلة وذلك لأنها تتنبأ بأن الكون بدأ بكثافة لا متناهية عند مفردة الانفجار الكبير. والمفردة تنهار عندها النسبية العامة وكل القوانين الفيزيائية الأخرى : فلا يستطيع المرء أن يتنبأ بما سينتج عن المفردة. وكما سبق شرحه، فإن هذا يعنى أن المرء يستطيع أيضا أن يحذف الانفجار الكبير، وأى أحداث من قبله، خارج النظرية، لأنها لا تستطيع أن يكون لها تأثير على ما نشاهده. و «سيكون» للمكان – الزمان حدٌ – أى بداية عند الانفجار الكبير.

ويبدو أن العلم قد أزاح الغطاء عن مجموعة من القوانين تخبرنا، فى نطاق الحدود التى يضعها مبدأ عدم اليقين، عن الطريقة التى سيتطور بها الكون بمضى الزمن، لو عرفنا حالته فى أى وقت بعينه. ولكن كيف كانت الحالة الابتدائية أو الشكل الابتدائى للكون؟ ماذا كانت «الشروط الحدّية» boundary conditions عند بداية الزمان؟

إن إحدى الإجابات الممكنة عن ذلك أننا لا يمكننا فهم الشكل الابتدائي للكون، ولكن تطور الكون هو ما يجرى حسب قوانين يمكننا فهمها. على أن تاريخ العلم كله هو التحقق تدريجيا من أن الأحداث لا تحدث اعتباطيا، وإنما هي تعكس نظاما معينا في الأساس منها. وسيكون من الطبيعي وحسب أن نفترض أن هذا النظام ينطبق لا على القوانين فقط وإنما أيضا على شروط حد المكان – الزمان التي تعيِّن الحالة الابتدائية للكون. وقد يكون ثمة عدد كبير من نماذج للكون لها ظروف ابتدائية مختلفة كلها تخضع للقوانين. وينبغي أن يكون ثمة مبدأ ينتخب حالة ابتدائية واحدة، وبالتالي نموذجا واحدا، ليمثل كوننا.

وأحد هذه الاحتمالات هو ما يسمى الشروط الحدية الشواشية. وتفترض هذه ضمنيا أن الكون إما أنه لا متناه مكانيا أو أن هناك أكوانا كثيرة بما لا نهاية له. وحسب الشروط الحدية الشواشية فإن احتمال العثور على أي منطقة بالذات في المكان في أي شكل بعينه بعد الانفجار الكبير مباشرة لهو احتمال يماثل، بمعنى ما، احتمال العثور عليه في أي شكل آخر: فالحالة الابتدائية للكون يتم اختيارها على نحو عشوائي محض. ويعني هذا أن الكون المبكر قد يكون فيما يحتمل في حالة شديدة من الشواش وعدم الانتظام لأن الأشكال الشواشية غير المنتظمة للكون هي أكثر كثيرا مما يكون له من أشكال مستوية منتظمة. (وإذا كان لكل شكل احتمال متساوٍ، فإن من المحتمل أن الكون قد بدأ في حالة من الشواش وعدم الانتظام، وذلك ببساطة لأن عدد هذه الأشكال أكثر كثيرا). ومن الصعب أن يرى المرء كيف أن مثل هذه الظروف الابتدائية الشواشية يمكن أن ينشأ عنها كون مستو منتظم بالمقياس الكبير بمثل ما هو عليه كوننا في الوقت الحالي. وسيتوقع المرء أيضا أن تذبذبات الكثافة في نموذج كهذا ستؤدي إلى تكوين ثقوب سوداء بدائية أكثر بكثير من الحد الأقصى الذي تفرضه مشاهدات خلفية أشعة جاما.

ولو كان الكون حقا لا متناهي في المكان، أو لو كان ثمة أكوان كثيرة بما لا نهاية له، فسيكون هناك فيما يحتمل بعض مناطق كبيرة في مكان ما قد بدأت بأسلوب مستو متسق. والأمر يشبه نوعا حشد القرود المشهور الذي يدق على آلات كاتبة – فسوف يكون معظم ما يكتبونه هراء، ولكنهم في أحوال نادرة جدا وبالصدفة المحضة سيطبعون إحدى سو ناتات شكسبير. فهل يمكن أننا بالمثل، في حالة الكون، نعيش في منطقة يتفق بالصدفة وحسب أنها مستوية ومتسقة؟ وللوهلة الأولى قد يبدو هذا من بالغ غير المحتمل، لأن مثل هذه المنطق المستوية سيفوقها في العدد تفوقا هائلا المناطق الشواشية غير المنتظمة. وعلى أي، هب أنه قد تم في المناطق المستوية وحدها تكوين المجرات والنجوم وأن الظروف فيها وحدها كانت ملائمة لنشأة الكائنات المعقدة الناسخة لذاتها مثلنا نحن أنفسنا والتي لها القدرة على توجيه سؤال: لماذا يكون الكون جد مستو هكذا؟ إن هذا مثل

لتطبيق ما يعرفه بالمبدأ الإنساني Anthropic principle ، الذى يمكن إعادة صياغته كالتالى «إننا نرى الكون بما هو عليه لأننا موجودون».

وثمة نوعان من المبدأ الإنساني هما الضعيف والقوى. والمبدأ الإنسانى الضعيف يقرر أنه فى كون كبير أو لامتناه فى المكان و/أو الزمان فإن الشروط الضرورية لنشأة حياة ذكية لا يتم الوفاء بها إلا فى مناطق معينة تكون محدودة المكان والزمان. والكائنات الذكية فى هذه المناطق ينبغى إذن ألا تفاجأ لو لاحظت أن موضعها فى الكون يفى بالشروط الضرورية لوجودها. والأمر يشبه نوعا رجلا غنيا يعيش فى جيرة ثرية فلا يرى أى فقر.

وأحد أمثلة استخدام المبدأ الإنساني الضعيف هو «تفسير» السبب فى أن الانفجار الكبير قد وقع منذ ما يقرب من عشرة آلاف مليون سنة — فالأمر يستغرق ما يقارب ذلك زمنا لتطوير كائنات ذكية. وكما شُرح بأعلاه، فإنه يجب أن يتكون أولا جيل مبكر من النجوم. وتحوّل هذه النجوم بعض الهيدروجين والهيليوم الأصليين إلى عناصر مثل الكربون والأوكسجين، التى نصنع نحن منها. ثم تنفجر النجوم إلى سوبر نوفات، وتمضى بقاياها لتكوّن نجوما وكواكب أخرى. من بينها تلك التى بمجموعتنا الشمسية، التى يبلغ عمرها ما يقرب من خمسة آلاف مليون سنة. وأول ألف أو ألفى مليون سنة من وجود أرضنا كانت أسخن من أن تسمح بنشأة أى شئ معقد. وقد استغرق ما بقى من الثلاثة آلاف مليون سنة أو ما يقرب من ذلك فى عملية التطور البيولوجى البطيئة، التى بدأت بأبسط الكائنات لتؤدى إلى كائنات لها القدرة على قياس الزمن وراء إلى الانفجار الكبير.

والمبدأ الإنساني الضعيف لن ينازع فى صحته أو نفعه إلا قلة من الأفراد. على أن هناك من يذهبون إلى مدى أبعد كثيرا فيطرحون نوعا قويا لهذا المبدأ. وحسب هذه النظرية، فإنه إما أن هناك أكوانا كثيرة مختلفة أو أن هناك مناطق كثيرة مختلفة فى كون واحد، كل منها له شكله الابتدائى الخاص به، وربما يكون له مجموعة قوانينه العلمية الخاصة به.. وفى معظم هذه الأكوان ستكون الظروف غير ملائمة لنشأة كائنات معقدة؛ ولن ينشأ، إلا فى أكوان قليلة مثل كوننا، كائنات ذكية توجه السؤال: «لماذا يكون الكون بالطريقة التى نراه عليها؟» وستكون الإجابة وقتها بسيطة: لو كان الكون مختلفا لما كنا هنا!

وقوانين العلم كما نعرفها حاليا، تحوى أرقاما كثيرة أساسية، مثل حجم الشحنة الكهربائية للإلكترون ونسبة كتلتى البروتون والالكترون. ونحن لا نستطيع، على الأقل فى لحظتنا هذه، أن نتنبأ بقيمة هذه الأرقام من النظرية — وإنما يجب أن نجدها بالمشاهدة. ولعلنا سنكتشف ذات يوم نظرية كاملة موحّدة تتنبأ بها كلها، ولكن من المحتمل أيضا أنها كلها أو بعضها تختلف من كون إلى كون أو داخل الكون الواحد. والحقيقة البارزة، هى أنه يبدو أن قيم هذه الأرقام قد ضبطت ضبطا دقيقا

جدا لتجعل نشأة الحياة ممكنة. وكمثل فلو أن الشحنة الكهربائية للإلكترون كانت تختلف فقط اختلافا هينا، لما أمكن للنجوم أن تحرق الهيدروجين والهيليوم، أو أنها ما كانت بالتالى ستنفجر. وبالطبع، فقد يكون ثمة أشكال أخرى من الحياة الذكية، لا يحلم بها حتى كتاب الروايات العلمية، ولا تتطلب نور نجم كالشمس أو العناصر الكيماوية الأثقل التى تُصنع فى النجوم ويُقذف بها ثانية فى الفضاء عندما تنفجر النجوم ورغم هذا، إلا أنه يبدو واضحا أن هناك نسبيا عددا قليلا من مدى قيم الأرقام التى تسمح بنشأة أى شكل للحياة الذكية. ومعظم مجموعات القيم تؤدى إلى نشأة أكوان هى، وإن كان يمكن أن تكون جميلة جدا، إلا أنها لن تحوى أحدا قادرا على الإعجاب بهذا الجمال. والمرأ أن يتخذ من ذلك دعما للمبدأ الإنسانى القوى.

وثمة عدد من الاعتراضات التى يمكن أن تُقام ضد المبدأ الإنسانى القوى بصفته تفسيرا لحالة الكون المشاهدة. فأولا، بأى معنى يمكن القول بوجود كل هذه الأكوان المختلفة؟ لو أنها حقا منفصلة أحدها عن الآخر، فإن ما يحدث فى كون آخر لا يمكن أن تكون له نتائج قابلة للمشاهدة فى كوننا نحن. وينبغى إذن استخدام مبدأ الاقتصاد فنحذفها من النظرية. ومن الناحية الأخرى، فلو أنها كانت وحسب مناطق مختلفة من كون واحد، فإن قوانين العلم يلزم أن تكون متماثلة فى كل منطقة، وإلا لما استطاع المرء أن يتحرك حركة متصلة من منطقة لأخرى. وفى هذه الحالة فإن الفارق الوحيد بين المناطق سيكون فى شكلها الابتدائى، وهكذا فإن المبدأ الإنسانى القوى سيختزل إلى المبدأ الضعيف.

والاعتراض الثانى على المبدأ الإنسانى القوى هو أنه يجرى فى اتجاه مضاد لاتجاه المد فى كل تاريخ العلم. لقد نمونا من كونيات بطليموس وسابقيه ذات المركز الأرضى، ثم من خلال الكونيات ذات المركز الشمسى عند كوبرنيكوس وجاليليو، حتى الصورة الحديثة حيث الأرض كوكب ذو حجم وسيط يدور حول نجم متوسط فى الضواحى الخارجية لمجرة لولبية عادية، هى نفسها مجرد مجرة واحدة من عدد من المجرات يقارب مليون المليون فيما يمكن رصده من الكون. إلا أن المبدأ الإنسانى القوى يزعم ببساطة أن هذا البناء الهائل كله إنما يوجد من أجلنا. ومن الصعب جدا الإيمان بذلك. ومن المؤكد أن نظامنا الشمى هو شرط مسبق لوجودنا، ويمكن المرء أن يوسع هذا الشرط إلى كل مجرتنا لإتاحة جيل نجوم أكثر تبكيرا يخلق العناصر الثقيلة. ولكن يبدو أنه ما من حاجة لأن تكون كل تلك المجرات الأخرى، لا هى ولا الكون، جد متسقة ومتماثلة هكذا فى كل اتجاه على المقياس الكبير.

وسوف يزيد ما يشعر المرء به من سعادة بشأن المبدأ الإنسانى، على الأقل فى نوعه الضعيف، لو أمكن للمرء أن يبين أن عددا له قدره من أشكال الكون الابتدائية المختلفة كان يمكن أن

يتطور لإنتاج كون مثل الكون الذى نشهده. ولو كان هذا هو الحال، فإن كوننا ينشأ من ظروف ما ابتدائية عشوائية لينبغى أن يحوى عددا من المناطق التى تكون مستوية ومتسقة وملائمة لتطوير حياة ذكية. ومن الناحية الأخرى فلو كانت الحالة الابتدائية للكون مما يلزم أن يتم اختياره فى حرص بالغ لتؤدى إلى شئ ما يشبه ما نراه حولنا، فسيكون من غير المحتمل أن يحوى الكون «أى» منطقة ستظهر فيها الحياة. وفى نموذج الانفجار الكبير الساخن الذى وصف بأعلاه، لم يكن ثمة وقت كافى للكون المبكر لتسرى الحرارة من منطقة لأخرى. ويعنى هذا أن الحالة الابتدائية للكون يلزم أن يكون فيها بالضبط نفس الحرارة فى كل مكان حتى يمكن تفسير حقيقة أن الخلفية الميكروويفية لها نفس الحرارة فى كل اتجاه ننظر إليه. كما أن السرعة الابتدائية للتمدد يجب أن يتم اختيارها اختيارا مضبوطا جدا حتى تظل سرعة التمدد قريبة جدا من المعدل الحرج اللازم لتجنب التقلص ثانية. ويعنى هذا أن الحالة الابتدائية للكون يجب أن تكون قد تم اختيارها بحرص بالغ حقا لو كان نموذج الانفجار الكبير الساخن صحيحا رجوعا إلى بدأ الزمان مباشرة - وسيكون من الصعوبة البالغة تفسير السبب فى أنه ينبغى أن يبدأ الكون بهذه الطريقة بالضبط إلا بقصد.

وفى محاولة العثور على نموذج للكون حيث يمكن لأشكال ابتدائية مختلفة أن تتطور إلى شئ ما يشبه الكون الحالى، اقترح آلان جوث، أحد علماء معهد التكنولوجيا بما ساتشوستس، أن الكون المبكر ربما قد مر بفترة من تمدد سريع جدا، ويقال عن هذا التمدد أنه «انتفاخى»، بمعنى أن الكون كان في وقت ما يتمدد بسرعة متزايدة بدلا من السرعة المتناقصة التى يتمدد بها فى وقتنا الحالى. وحسب جوث، فإن نصف قطر الكون زاد بمليون مليون مليون مليون مليون ضعف (١ يعقبه ثلاثون صفرا) فيما لا يزيد عن جزء دقيق من الثانية.

ويقترح جوث أن الكون بدأ من الانفجار الكبير وهو فى حالة ساخنة جدا وإن كانت حالة

نوعا. ودرجات الحرارة العالية هذه تعنى أن الجسيمات التى فى الكون ستتحرك سريعا جدا وسيكون لها طاقات كبيرة. وكما ناقشنا من قبل، فإن المرء يتوقع أنه عند درجات الحرارة العالية هكذا ستكون القوى النووية الضعيفة والقوية والقوة الكهرومغنطية كلها موحدة فى قوة واحدة. وإذ يتمدد الكون فإنه يبرد، وتقل طاقة الجسيمات. وفى النهاية سيكون هناك ما يسمى طور التحول وينكسر ما بين القوى من سمترية: فتصبح القوة القوية مختلفة عن القوى الضعيفة والكهرومغنطية. وأحد الأمثلة الشائعة لحالة من طور التحول هو تجمد الماء عندما تبرده. والماء السائل سمترى، فهو متماثل عند كل نقطة وفى كل اتجاه. على أنه عندما تتكون بلورات الثلج، تصبح لها أوضاع معينة وتصطف فى اتجاه ما. وهذا يكسر سمترية الماء.

وفى حالة الماء، يستطيع المرء، عندما يكون حريصا، أن يبرده «تبريدا فائقا» أى أن المرء يستطيع خفض حرارته إلى ما تحت نقطة التجمد (درجة الصفر المئوى) ودون أن يتكون الثلج. وقد اقترح جوث أن الكون ربما يسلك على نحو مماثل: فالحرارة قد تهبط لأقل من القيمة الحرجة دون أن ينكسر مابين القوى من سمترية. وإذا حدث هذا، فإن الكون سيصبح فى حالة غير مستقرة، وبه طاقة أكبر مما لو كانت السمترية قد انكسرت. وهذه الطاقة الخاصة الإضافية يمكن أن يُبيِّن أن لها تاثيرا مضادا للجانبية: فسيكون لها مفعول يشبه تماما الثابت الكونى الذى أدخله إينشتين إلى النسبية العامة عندما كان يحاول بناء نموذج استاتيكي للكون. وحيث أن الكون فى حالة تمدد من قبل تماما مثلما فى نموذج الانفجار الكبير الساخن، فإن المفعول التنافرى لهذا الثابت الكونى سيجعل الكون إذن يتمدد بسرعة تتزايد أبدا. وحتى فى المناطق التى تكون جسيمات المادة فيها أكثر من المتوسط، فإن شد جانبية المادة سيتفوق عليه مفعول هذا الثابت الكونى التنافرى. وهكذا فإن هذه المناطق ستتمدد أيضا على نحو انتفاخى متزايد السرعة. وإذ هى تتمدد ويزيد تباعد الجسيمات، فإن المرء سيجد كونا متمددا يحوى بالكاد أى جسيمات وما زال فى حالة البرودة الفائقة. وأى أوجه عدم انتظام فى الكون سيتم ببساطة تسويتها بالتمدد، مثلما تُسوِّى تجعدات البالونه عندما تنفخها. وهكذا فإن حالة الكون الحالية من استواء واتساق يمكن أن تتطور من حالات ابتدائية كثيرة مختلفة وغير متسقة.

وفى كون كهذا، حيث سرعة التمدد تتزايد بثابت كونى بدلا من أن تتناقص بشد جانبية المادة، فإنه سيكون هناك وقت كاف لأن ينتقل الضوء من منطقة لأخرى فى الكون المبكر. وهذا يمكن أن يمدنا بحل للمشكلة التى سبق إثارتها، عما هو السبب فى أن المناطق المختلفة فى الكون المبكر لها نفس الخصائص. وفوق ذلك فإن معدل تمدد الكون سيصبح أوتوماتيكيا قريبا جدا من المعدل الحرج الذى يحدده كثافة طاقة الكون. وهذا يمكن أن يفسر السبب فى أن معدل تمدالكون يظل قريبا جدا من المعدل الحرج، دون الحاجة إلى افتراض أن سرعة التمدد الابتدائية قد اختيرت بحرص بالغ.

وفكرة الانتفاخ يمكن أيضا أن تفسر السبب فى كثرة وجود المادة هكذا فى الكون. فهناك ما يكاد يبلغ عشرة مليون مليون مليون مليون مليون مليون مليون مليون مليون مليون مليون مليون مليون مليون جسيما (١ يعقبه ثمانون صفرا) فى منطقة الكون التى يمكننا رصدها. من أين أتت كلها؟ والإجابة هى أنه، فى نظرية الكم، يمكن خلق الجسيمات من الطاقة فى شكل أزواج من الجسيم / مضاد الجسيم. ولكن هذا بالضبط يثير التساؤل عن المصدر الذى أتت منه الطاقة. والإجابة هى أن الطاقة الكلية للكون هى بالضبط صفر. والمادة فى الكون مصنوعة من طاقة إيجابية. إلا أن المادة كلها تجذب نفسها بالجاذبية. وجزءا المادة اللذان يكونان قريبين أحدهما من

الآخر يكون لهما طاقة أقل مما لنفس الجزئين عندما يتباعدان لمسافة كبيرة، لأنه سيكون عليك أن تبذل طاقة لفصلهما ضد قوى الجاذبية التي تشدهما معا. وهكذا، فبمعنى ما، يكون لمجال قوة الجاذبية طاقة سالبة. وفي حالة الكون الذي يكون على وجه التقريب متسقا في المكان، يمكن للمرء أن يبين أن طاقة الجاذبية السالبة هذه تلغي بالضبط الطاقة الموجبة التي تمثلها المادة. وهكذا فإن الطاقة الكلية للكون هي صفر.

والآن فإن ضعف الصفر هو أيضا صفر. وإذن فإن الكون يمكن أن يضاعف كمية طاقة المادة الموجبة ويضاعف أيضا طاقة الجاذبية السالبة دون أن ينتهك بقاء الطاقة. ولا يحدث هذا في حالة التمدد الطبيعي للكون حيث تقل كثافة طاقة المادة بزيادة حجم الكون. على أن هذا يحدث فعلا في التمدد الانتفاخي، لأن كثافة الطاقة للحالة فائقة التبريد تظل ثابتة أثناء تمدد الكون: وعندما يتضاعف حجم الكون، فإن طاقة المادة الموجبة هي وطاقة الجاذبية السالبة كلاهما يتضاعف، وهكذا تظل الطاقة الكلية صفرا. والكون أثناء الطور الانتفاخي يزيد من حجمه بقدر كبير جدا. وهكذا فإن الكمية الكلية للطاقة المتاحة لصنع الجسيمات تصبح كبيرة جدا. وكما يذكر جوث فإنه «يقال أنه لا يوجد ثمة شئ مثل وجبة غذاء مجانية. ولكن الكون هو الغذاء المجاني النهائي».

والكون في وقتنا الحاضر لا يتمدد على نحو انتفاخي. وهكذا فإن هناك بالضرورة آلية ما للتخلص من الثابت الكوني البالغ الكبر والفعالية وبذا يتغير معدل التمدد من معدل متزايد إلى معدل يتم تقليله بالجاذبية، كما هو لدينا حاليا. وفي التمدد الانتفاخي قد يتوقع المرء أن ما بين القوى من سمترية سينكسر في النهاية، تماما مثلما يحدث للماء الفائق التبريد أن يتجمد دائما في النهاية. وعندها فإن الطاقة الإضافية لحالة السمترية غير المنكسرة ستنطلق وتعيد تسخين الكون إلى درجة حرارة هي بالضبط أقل من الحرارة الحرجة للسمترية بين القوى. وعندها فإن الكون سيواصل التمدد والبرودة تماما مثل نموذج الانفجار الكبير الساخن، ولكن سيكون هناك الآن تفسير للسبب في أن الكون يتمدد بالضبط بالسرعة الحرجة، والسبب في أن المناطق المختلفة لها درجة الحرارة نفسها.

والمفروض في فرض جوث الأصلي أن طور التحول يقع فجأة، بما يكاد يشبه ظهور بلورات الثلج في الماء البارد جدا. والفكرة هي أن «فقاعات» من الطور الجديد ذي السمترية المكسورة ستتكون من داخل الطور القديم، مثل فقاعات البخار المحاطة بماء يغلي. ومن المفترض أن الفقاعات سوف تتمدد وتندمج إحداها بالأخرى حتى يصبح الكون كله في الطور الجديد. والمشكلة كما بينتها أنا والعديدون غيري، هي أن الكون كان يتمدد بسرعة كبيرة لدرجة أنه حتى لو كانت الفقاعات تنمو بسرعة الضوء، فإنها ستبتعد إحداها عن الأخرى، وهكذا لا تستطيع أن تلتصم معا. وسيظل الكون في حالة بالغة من عدم الاتساق، مع وجود بعض مناطق تظل بها سمترية بين

القوى المختلفة. ومثل هذا النموذج للكون لا يطابق ما نراه.

وفـى أكتوبر ١٩٨١ ، ذهـبت إلى موسـكو لحضـور مؤتمـر عـن جاذبية الكـم. وبعد المؤتمر ألقيت كلمـة فى ندوة عن النموذج الانتفاخى وَمشكلاته فى معهد سترنبرج الفلكى. وكنت قبل ذلك، قد جئت بشخص غيرى ليلقى محاضرات نيابة عنى، لأن معظم الناس لا يمكنهم فهم صوتى. على أنه لم يكن هناك وقت للإعداد لهذه الندوة، فألقيت كلمتى بنفسى، بينما كان أحد طلابى الجامعيين يكرر كلماتى. وقد أوفى ذلك بالغرض جيدا، وأعطانى تواصلا أكثر كثيرا بمستمعى. وكان بين المستمعين شاب روسى، يدعى أندريا لند من معهد ليبيديف بموسكو، وقال إن مشكلة عدم انضمام الفقاعات معا يمكن تجنبها لو أن الفقاعات كانت من الكبر بحيث تكون منطقتنا من الكون محتواة كلها داخل فقاعة واحدة. وحتى تكون هذه الفكرة صالحة، فإن التغير من السمترية إلى السمترية المكسورة لا بد وأن يحدث داخل الفقاعة ببطئ شديد، ولكن هذا ممكن تماما حسب النظريات الموحدة العظمى. وكانت فكرة لند عن التكسر البطئ للسمترية فكرة جيدا جدا، ولكنى تبينت فيما بعد أن فقاعاته لا بد وأن يكون لها حجم أكبر من حجم الكون وقتها! وبينت أنه بدلا من ذلك فإن السمترية تتكسر فى كل مكان فى نفس الوقت، بدلا من أن يحدث ذلك داخل الفقاعات وحسب. وسيؤدى هذا إلى كون متسق كما نشهده. وانفعلت جدا بهذا الفكرة وناقشتها مع أحد طلبتى، وهو أيان موس. إلا أننى كصديق للند تملكنى الحرج نوعا ما، عندما أرسلت لى بعدها ورقة بحثه بواسطة مجلة علمية وسُئلت إذا ما كانت صالحة للنشر. وأجبت بأن فيها ذلك الخطأ من أن الفقاقيع ستكون أكبر من الكون، إلا أن الفكرة الأساسية للكسر البطئ للسمترية هى فكرة جيدة جدا. وأوصيت أن تنشر الورقة كما هى، لأن تصحيحها سيستغرق من لند شهورا عديدة، حيث أن كل ما يُرسل إلى الغرب يجب أن تمرره الرقابة السوفييتية، وهى رقابة ليست جد بارعة ولا جد سريعة فيما يختص بأوراق البحث العلمية. وكتبت بدلا من ذلك ورقة بحث قصيرة مع أيان موس فى نفس المجلة بيّنا فيها مشكلة الفقاعة هذه وكيف يمكن حلها.

وفى اليوم التالى لعودتى من موسكو، أخذت فى الرحيل إلى فيلادلفيا، حيث كان قد حان استلامى لميدالية من معهد فرانكلين. وقد استخدمت سكرتيرتى جودى فلا ما لها من سحر غير قليل لحث الخطوط الجوية البريطانية على منحى وإياها مقاعد مجانية على طائرة كونكورد كمساهمة دعائية. على أنى حُجزت فى طريقى للمطار بوابل مطر ثقيل وتخلفت من الطائرة. ومع كل، فقد وصلت فى النهاية إلى فيلادلفيا وتلقيت ميداليتى. ثم سُئلت بعدها أن ألقى كلمة فى ندوة عن الكون الانتفاخى فى جامعة دريكسل بفيلادلفيا. وألقيت نفس الكلمة عن مشكلات الكون الانتفاخى، تمام كما فى موسكو.

وبعد عدة شهور طرحت بصورة مستقلة فكرة مماثلة تماما لفكرة لند وذلك بواسطة بول شتينهاردت وأندرياس البرخت من جامعة بنسلفانيا. والآن فإنهما ولند يُعزى لهم معا ما يسمى «النموذج الانتفاخي الجديد» الذي يتأسس على فكرة التكسير البطئ للسمترية. (النموذج الانتفاخي القديم هو اقتراح جوث الأصلي بالتكسير السريع للسمترية مع تكوين الفقاعات).

كان النموذج الانتفاخي الجديد محاولة طيبة لتفسير لماذا يكون الكون بما هو عليه. على أني مع العديدين غيري قد بيّنا أنه، على الأقل في شكله الأصلي، يتنبأ بتباينات في درجة حرارة إشعاع الخلفية الميكروويفية أعظم كثيرا مما يرصد. كما أن البحث اللاحق قد ألقى الشك على إمكان وجود طور تحول في الكون المبكر جدا من النوع المطلوب. وفي رأيي الخاص، فإن النموذج الانتفاخي الجديد كنظرية علمية قدمات الآن، وإن كان يبدو أن أناسا كثيرين لم يسمعوا بوفاته وما زالوا يكتبون أوراق بحث وكأنه ما زال حيا. وقد طرح لند في ١٩٨٣ نموذجا أفضل يسمى النموذج الانتفاخي الشواشي. وفيه لا يوجد طور تحول أو تبريد فائق. وبدلا من ذلك، فإن ثمة مجالا من لف صفر، هو بسبب تذبذبات الكم تكون قيمته كبيرة في بعض المناطق من الكون المبكر. وطاقة المجال في هذه المناطق ستسلك كثابت كوني. وسيكون لها مفعول منافر للجاذبية، وهكذا سيجعل تلك المناطق تتمدد على نحو انتفاخي. وإذ يحدث لها التمدد، فإن طاقة المجال فيها تقل ببطء حتى يتغير التمدد الانتفاخي إلى تمدد من مثل ذلك النوع الذي في نموذج الانفجار الكبير الساخن. وتصبح إحدى هذه المناطق ما نراه الآن على أنه الكون القابل للرصد. ولهذا النموذج كل مزايا النماذج الانتفاخية السابقة، ولكنه لا يعتمد على طور تحول مشكوك في أمره، وفوق ذلك فإنه يمكن أن يعطي حجما معقولا للتذبذبات في درجة حرارة الخلفية الميكروويفية يتفق مع المشاهدة.

وقد بين هذا البحث على النماذج الانتفاخية أن الوضع الحالي للكون هو مما قد ينشأ عن عدد كبير نوعا من الأشكال الابتدائية المختلفة وهذا أمر هام، لأنه يبين أن الحالة الابتدائية لجزء الكون الذي نسكنه لا يجب أن تكون منتقاة بحرص عظيم. وهكذا فإنه يمكننا، لو شئنا، أن نستخدم المبدأ الإنساني الضعيف لتفسير السبب في أن الكون يبدو بما هو عليه الان. على أنه لا يمكن أن يكون الحال بحيث أن «كل» شكل ابتدائي سيؤدي إلى كون مثل الذي نشهده. ويمكن للمرء أن يبين ذلك بالنظر إلى حالة الكون في وقتنا الحالي تكون مختلفة جدا، كأن يكون الكون مثلا بالغ الوعورة وعدم الانتظام. ويمكن أن يستخدم المرء قوانين العلم للذهاب بتطوير الكون وراء في الزمان لتحديد شكله في الأزمنة السابقة. وحسب نظريات المفردة في النسبية العامة الكلاسيكية فإنه ستظل هناك مفردة الانفجار الكبير. ولو طورت كونا كهذا قدما في الزمان حسب قوانين العلم فسوف تنتهي إلى الحالة التي بدأت بها من وعورة وعدم انتظام. وهكذا فإنه يلزم أنه كان ثمة أشكال

ابتدائية لا تؤدى إلى نشأة كون مثل الكون الذى نراه فى وقتنا الحالى. وهكذا فإنه حتى النماذج الانتفاخية لا تخبرنا عن السبب فى أن الشكل الابتدائى لم يكن بحيث ينتج شيئاً يختلف تماماً عما نشاهده. أفيجب أن نلتفت إلى المبدأ الإنسانى طلبا للتفسير؟ أكان الأمر كله صدفة محظوظة؟ إن هذا يبدو كخطة من اليأس، وكنفى لكل آمالنا فى أن نفهم النظام الأساسى للكون.

وحتى نتنبأ بما ينبغى أن يكون الكون قد بدأ به، فإن الواحد يحتاج إلى قوانين تصلح لبداية الزمان. ولو كانت نظرية النسبية العامة صحيحة، فإن نظريات المفردة التى برهن عليها روجر بنروز وإياى تبين أن بداية الزمان تكون نقطة كثافة لا متناهية وانحناء لا متناهى للمكان – الزمان. وكل قوانين العلم المعروفة تنهار عند نقطة كهذه. والمرء أن يفترض أن ثمة قوانين جديدة تصلح للمفردات، ولكن سيكون من الصعب جدا أن نصوغ حتى مثل هذه القوانين عند نقط سيئة السلوك هكذا، ولن يكون لدينا مرشد من المشاهدات لما قد تكون عليه هذه القوانين. على أن ما تدل عليه حقا نظريات المفردة هو أن مجال الجاذبية يصبح من القوة بحيث أن تأثيرات الكم الجاذبية تصبح مهمة: ولا تعود النظرية الكلاسيكية بعد توصيفا جيدا للكون. وهكذا يصبح على المرء أن يستخدم نظرية كم للجاذبية لمناقشة أحوال الكون المبكرة جدا. وكما سوف نرى، فإن من الممكن لنظرية الكم لقوانين العلم العادية أن تصلح فى أى مجال، بما فى ذلك ما عند بداية الزمان: ولا يصبح من الضرورى افتراض قوانين جديدة للمفردات، لأنه ما من حاجة لوجود أى مفردات فى نظرية الكم.

وليس لدينا بعد نظرية كاملة متماسكة تجمع ميكانيكا الكم والجاذبية. على أننا واثقون نوعا من بعض الملامح التى ينبغى أن تكون لمثل هذه النظرية الموحدة. فأولا ينبغى أن تتضمن فرض فينمان لصياغة نظرية الكم بلغة من حاصل جمع التواريخ. وفى هذا التناول لا يكون للجسيم الواحد تاريخ واحد فقط كما فى النظرية الكلاسيكية. وبدلا من ذلك، يُفترض أنه يتبع كل مسار ممكن فى المكان – الزمان، وفى كل من هذه التواريخ يكون مصحوبا بزوج من الأرقام، أحدهما يمثل حجم موجة والآخر يمثل وضعه فى الدورة (طوره). واحتمال أن الجسيم مثلا، يمر من خلال نقطة معينة، يمكن إيجاده بحاصل جمعُ الموجات المصاحبة لكل تاريخ ممكن يمر من خلال هذه النقطة. على أنه عندما يحاول المرء بالفعل أداء عمليات الجمع هذه، فإنه تعترضه مشاكل تقنية بالغة الصعوبة. والطريقة الوحيدة للتحايل عليها هى الوصفة العجيبة التالية: يجب أن يجمع المرء موجات تواريخ الجسيم التى ليست فى الزمان «الحقيقى» الذى نمارسه أنا وأنت وإنما تحدث فيما يسمى بالزمان التخيلى. والزمان التخيلى قد يبدو كرواية علمية ولكنه فى الحقيقة مفهوم رياضى معرّف على وجه التحديد. وعندما نأخذ أى رقم عادى (أو «حقيقى») ونضربه فى نفسه، فإن النتيجة تكون رقما موجبا. (وكمثل فإن ٢ مضروبة فى ٢ تساوى ٤ ، على أن – ٢ مضروبة فى – ٢ تكون بمثل ذلك).

إلا أن هناك أرقاما خاصة (تسمى تخيلية) تعطى أرقاما سالبة عندما تضرب فى نفسها (العدد المسمى i ، عندما يضرب فى نفسه يعطى – ١، و٢ (i) مضروبة فى نفسها تعطى – ٤ وهلم جرا). ولتجنب الصعوبات التقنية فى حاصل جمع تواريخ فينمان، يجب أن يستخدم المرء زمانا تخيليا. بمعنى، أنه لأغراض الحساب يجب أن يقيس المرء الزمان باستخدام أرقام تخيلية، بدلا من الأرقام الحقيقية. ولهذا تأثير شيق على المكان – الزمان : فالتمييز بين الزمان والمكان يختفى تماما. والمكان – الزمان الذى تكون للأحداث فيه قيم تخيلية لإحداثى الزمان يقال عنه أنه إقليدى، نسبه للإغريقى القديم إقليدس، الذى أسس دراسة هندسة الأسطح ذات البعدين. وما نسميه الآن المكان – الزمان الإقليدى يشابه ذلك كثيرا فيما عدا أن له أربعة أبعاد بدلا من اثنين. وفى المكان – الزمان الإقليدى لا يوجد فارق بين اتجاه الزمان والاتجاهات فى المكان. ومن الناحية الأخرى، فى المكان – الزمان الحقيقى، حيث تُعنون الأحداث بقيم عادية حقيقية لإحداثى الزمان، فإن من السهل معرفة الفارق – فاتجاه الزمان عند كل النقط يقع داخل مخروط الضوء، واتجاهات المكان تقع خارجه. وعلى أى حال، ففيما يختص بميكانيكا الكم فى الحياة اليومية، فإننا يمكن أن ننظر إلى استخدامنا للزمان التخيلى والمكان – الزمان الإقليدى كمجرد وسيلة (أو حيلة) رياضية لحساب الأجوبة عن المكان – الزمان الحقيقى.

والملمح الثانى الذى نعتقد أنه يجب أن يكون جزءا من أى نظرية نهائية هو فكرة إينشتين من أن مجال الجاذبية يمثله المكان – الزمان المنحنى : فالجسيمات تحاول أن تتبع أقرب شئ للمسار المباشر فى المكان المنحنى، ولكن حيث أن المكان – الزمان ليس مسطحا فإن مساراتها تبدو مقوسة، كما لو كان ذلك بواسطة مجال الجاذبية. وعند تطبيق حاصل جمع فينمان للتواريخ على نظرة إينشتين للجاذبية، فإن القياس المماثل لتاريخ أحد الجسيمات هو الآن المكان – الزمان المنحنى الكامل، الذى يمثل تاريخ الكون كله. ولتجنب الصعوبات التقنية عند حساب حاصل جمع التواريخ بالفعل، فإن هذه الأمكنة – الأزمنة المنحنية ينبغى أن تؤخذ على أنها إقليدية. بمعنى، أن الزمان تخيلى ولا يمكن تمييزه عن الاتجاهات فى المكان. ولحساب احتمال العثور على مكان – زمان حقيقى له خاصية ما معينة، كأن يبدو متماثلا عند كل نقطة وفى كل اتجاه، فإن المرء يجمع الموجات المصاحبة لكل التواريخ التى لها تلك الخاصية.

وفى نظرية النسبية العامة الكلاسيكية، يوجد الكثير من الأمكنة – الأزمنة المنحنية المحتملة المختلفة، وكل منها يقابل حالة ابتدائية مختلفة من الكون. ولو عرفنا الحالة الابتدائية لكوننا، فإننا سنعرف كل تاريخه. وبالمثل، فى نظرية الكم للجاذبية، توجد للكون حالات كم كثيرة مختلفة محتملة. ومرة أخرى، فلو عرفنا كيف سلكت الأمكنة – الأزمنة الإقليدية المنحنية فى حاصل جمع التواريخ

في الأزمنة المبكرة، فإننا سوف نعرف حالة الكم للكون.

وفي النظرية الكلاسيكية الجاذبية، التي تتأسس على المكان - الزمان الحقيقي، ليس هناك غير طريقتين محتملتين يمكن أن يسلك بهما الكون : إما أنه قد وجد لزمن لا متناه، أو أنه له بداية عند مفردة عند وقت ما متناه في الماضي. ومن الناحية الأخرى فإنه في نظرية الكم الجاذبية، ينشأ احتمال ثالث، حيث أن المرء يستخدم أمكنة - أزمنة إقليدية ، حيث اتجاه الزمان هو على نفس الأساس مثل الاتجاهات في المكان، فإن من الممكن للمكان - الزمان أن يكون متناهيا في مداه ومع ذلك ليس له مفردة تشكل حدا أو حرفا. وسيكون المكان - الزمان مثل سطح الأرض، إلا أن له بعدين أكثر. وسطح الأرض متناهي في مداه ولكنه ليس له حد ولا حرف: ولو انطلقت مبحرا في الغروب، فإنك لن تقع من على الحرف أو تصطدم بمفردة. (وأنا أعرف ذلك، لأني قد درت حول الأرض!).

وإذا كان المكان - الزمان الإقليدي يمتد وراء إلى زمان تخيلي لا متناه، أو أنه بدلا من ذلك قد بدأ عند مفردة في الزمان التخيلي، فسيكون لدينا نفس المشكلة كما في النظرية الكلاسيكية بشأن تعيين الحالة الابتدائية للكون: فنحن لا نستطيع إعطاء أي سبب بعينه لتصور أنه قد بدأ بهذه الطريقة بدلا من الأخرى. ومن الناحية الأخرى، فإن نظرية الكم للجاذبية قد فتحت الطريق لاحتمال جديد، حيث لا يكون للمكان - الزمان حد وهكذا لا يكون ثمة حاجة لتعيين السلوك عند هذا الحد. ولن يكون ثمة مفردة تنهار عندها القوانين العلمية ولن يكون ثمة حرف للمكان - الزمان حيث يضطر المرء لاستدعاء قانون ما جديد لوضع الشروط الحدية للمكان - الزمان. ويمكن للمرء أن يقول إن «الشرط الحدي للكون هو أنه ليس له حد». ويكون الكون بلا بداية ولا نهاية وإنما هو «موجود» وحسب.

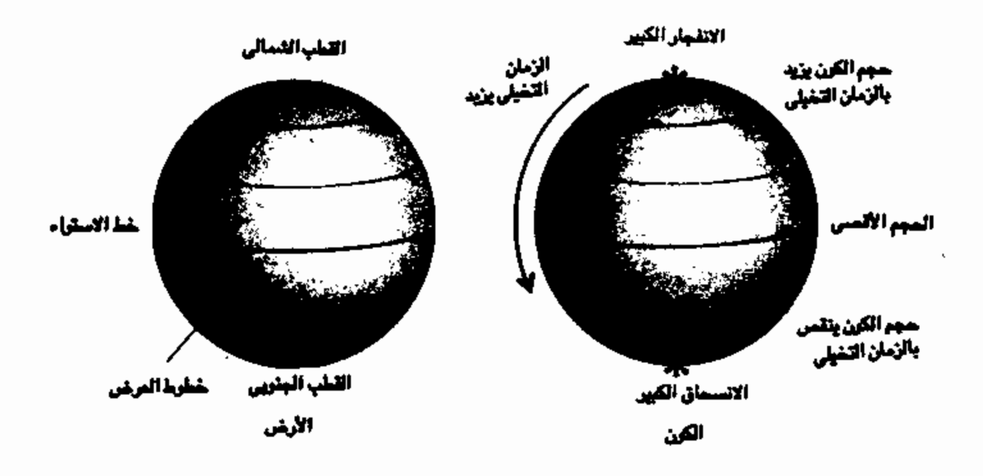
وفي مؤتمر الفاتيكان السابق ذكره طرحت لأول مرة اقتراح أن الزمان والمكان ربما يشكلان معا سطحا متناهيا في حجمه ولكن ليس له أي حد أو حرف. وكانت ورقة بحثي رياضية نوعا. ولم أكن أعرف وقت مؤتمر الفاتيكان طريقة استخدام فكرة (اللاحدية) للتنبؤ بما يتعلق بالكون. على أني أنفقت الصيف التالي في جامعة كاليفورنيا، سانتاباربرا. وهناك استنبطت أنا وزميلي وصديقي جيم هارتل الشروط التي يجب أن يفي بها الكون لو كان المكان - الزمان ليس له حد. وعندما عدت إلى كمبردج، واصلت هذا البحث مع اثنين من طلاب البحوث عندي وهما جوليان لوترل وجوناثان هاليول.

وأود أن أوكد أن هذه الفكرة عن أن الزمان والمكان ينبغي أن يكونا متناهيين وبلا حد هي مجرد «افتراض» : فهي لا يمكن استنباطها من مبدأ آخر. ومثل أي نظرية علمية أخرى فإنها يمكن

طرحها ابتداء لأسباب جمالية أو ميتافيزيقية، ولكن الاختبار الحقيقي لها هو ما إذا كانت تؤدى إلى تنبؤات تتفق مع المشاهدة. على أن هذا ما يصعب تقريره فى حالة الكم الجاذبية، وذلك لسببين: الأول، كما سيتم شرحه فى الفصل التالي، أننا لسنا للآن متأكدين بالضبط بشأن أى النظريات العلمية سوف تجمع بنجاح النسبية العامة وميكانيكا الكم، وإن كنا نعرف الشئ الكثير إلى حد ما عن الشكل الذى يجب أن تكون عليه نظرية كهذه. والثانى، أن أى نموذج يصف الكون بأسره بالتفصيل سيكون رياضيا معقدا لنا الغاية بحيث لا نستطيع حساب تنبؤات مضبوطة. وعلى المرء إذن أن يصنع افتراضات وتقريبات مبسَّطة ـ وحتى بعد ذلك، فإن مشكلة استخلاص التنبؤات تظل مشكلة قوية.

وكل تاريخ فى حاصل جمع التواريخ سوف لا يصف المكان – الزمان وحده وإنما أيضا كل شئ من داخله، بما فى ذلك أى كائنات معقدة مثل الكائنات البشرية التى تستطيع رصد تاريخ الكون. وقد يمد هذا بتبرير آخر للمبدأ الإنسانى، ذلك أنه لو كانت كل التواريخ ممكنة، فإننا – طالما أننا نوجد فى أحد التواريخ نستطيع استخدام المبدأ الإنسانى لتفسير السبب فى أن الكون موجود بما هو عليه. وليس من الواضح بالضبط، أى معنى يمكن إضفائه على التواريخ الأخرى التى لا نوجد فيها. على أن هذه النظرة لنظرية كم الجاذبية تكون مرضية إلى حد أكبر كثيرا، لو أمكن للمرء أن يبين أنه باستخدام حاصل جمع التواريخ، فإن كوننا ليس مجرد أحد التواريخ الممكنة ولكنه واحد من أكثر التواريخ احتمالا. وللقيام بذلك، يجب أن نحسب حاصل جمع التواريخ لكل ما هو ممكن من الأمكنة – الأزمنة الإقليدية التى بلا حد.

وحسب فرض اللاحدية، يتعلم المرء أن فرصة أن نجد الكون متبعا لمعظم التواريخ الممكنة هى فرصة جديرة بالإهمال، ولكن ثمة عائلة معينة من التواريخ تكون أكثر احتمالا بكثير من التواريخ الأخرى – ويمكن تصوير عائلة التواريخ هذه بأنها تشبه سطح الأرض، حيث المسافة من القطب الشمالى تمثل زمنا تخيليا وحجم الدائرة التى على مسافة ثابتة من القطب الشمالى تمثل الحجم الفضائى للكون. والكون يبدأ عند القطب الشمالى كنقطة وحيدة. وإذ يتحرك الواحد جنوبيا، فإن دوائر خطوط العرض التى على مسافة ثابتة من القطب الشمالى تصبح أكبر بما يقابل تمدد الكون بالزمان التخيلى (شكل ٨،١). وسيصل الكون إلى أقصى حجم عند خط الاستواء وسوف ينكمش بتزايد الزمان التخيلى ليصل إلى نقطة واحدة عند القطب الجنوبى. ورغم أن حجم الكون سيكون صفرا عند القطبين الشمالى والجنوبى، فإن هاتين النقطتين لن تكونا مفردتين، بأكثر مما يكون قطبا الأرض الشمالى والجنوبى فريدين. وستنطبق قوانين العلم عليهما، مثلما تنطبق على القطبين الشمالى والجنوبى على الأرض.



شكل ٨،١

إلا أن تاريخ الكون، في الزمان الحقيقي، سيبدو مختلفا جدا. فمنذ ما يقرب من عشرة أو عشرين ألف مليون سنة، كان له حجم أدنى، يساوي أقصى نصف قطر التاريخ في الزمان التخيلي. وفي الأزمنة الحقيقية اللاحقة، سيتمدد الكون على مثال النموذج التضخمي الفوضوي الذي اقترحه لند (ولكن ليس على المرء الآن افتراض أن الكون قد نشأ بطريقة ما في الحالة ذات النوع المناسب). وسوف يتمدد الكون إلى حجم كبير جدا ثم يتقلص ثانية في النهاية إلى ما يبدو كمفردة في الزمان الحقيقي. وهكذا، فبمعنى ما، فإننا ما زلنا كلنا يتحتم هلاكنا، حتى ولو بقينا بعيدا عن الثقوب السوداء. ولن ينتفي وجود المفردات إلا إذا أمكننا تصوير الكون بحدود من الزمان التخيلي.

وإذا كان الكون حقا في مثل هذه الحالة من الكم، فإنه لن يكون ثمة مفردات في تاريخ الكون في الزمان التخيلي. وقد يبدو إذن أن بحثي الأحدث قد أبطل تماما نتائج بحثي الأقدم عن المفردات. ولكن، وكما سبق بيانه، فإن الأهمية الحقيقية لنظريات المفردة هي أنها قد بينت أن مجال الجاذبية يصبح فيما يجب من القوة بحيث أن تأثيرات كم الجاذبية لا يمكن تجاهلها. وقد أدى هذا بدوره إلى فكرة أن الكون يمكن أن يكون متناهيا في الزمان التخيلي ولكنه بلا حدود أو مفردات. على أنه عندما يعود المرء إلى الزمان الحقيقي الذي نعيش فيه، فإنه فيما يظهر ستظل هناك مفردات. والفلكي التعس الذي يقع في ثقب أسود سيظل مصيره إلى نهاية مؤلمة؛ إلا إذا عاش

وحسب فى الزمان التخيلى حيث لن يجابه بمفردات.

ولعل هذا فيه اقتراح بأن ما يسمى الزمان التخيلى هو حقا الزمان الحقيقى، وما نسميه الزمان الحقيقى هو مجرد تلفيق من خيالنا. وفى الزمان الحقيقى، يكون للكون بداية ونهاية عند مفردات تشكل حدا للمكان - الزمان، وتنهار عندها قوانين العلم. أما فى الزمان التخيلى، فليس من مفردات ولا حدود. وهكذا فقد يكون ما نسميه زمانا تخيليا هو حقا الزمان الأكثر جوهرية، وما نسميه زمانا حقيقيا هو مجرد فكرة اخترعناها لمساعدتنا على توصيف ما نظن أن الكون يشبهه. ولكن النظرية العلمية، حسب التناول الذى وصفته فى الفصل الأول، هى فحسب نموذج رياضى نصنعه لتوصيف مشاهداتنا: فهو يتواجد فقط فى عقولنا. وهكذا يكون مما لا معنى له أن نسأل: أيهما الحقيقى، الزمان«الحقيقى» أو «التخيلى»؟ فالأمر ببساطة هو أيهما التوصيف الأكثر فائدة.

ويمكننا أيضا أن نستخدم حاصل جمع التواريخ، هو وفرض اللاحدية، لاكتشاف أى خصائص الكون هى التى يحتمل أن تحدث معا. وكمثل، فإن المرء يستطيع أن يحسب احتمال أن الكون يتمدد بنفس المعدل تقريبا فى كل الاتجاهات المختلفة فى الوقت الذى تكون فيه كثافة الكون بقيمتها الحالية. والنماذج المبسطة التى تم اختبارها حتى الآن، يثبت فيها فى النهاية أن هذا الاحتمال مرتفع؛ أى أن شرط اللاحدية المفترض يؤدى إلى التنبؤ بأن من المحتمل جدا أن المعدل الحالى لتمدد الكون هو متماثل تقريبا فى كل اتجاه. وهذا يتفق مع مشاهدات إشعاع الخلفية الميكروويفية، مما يبين أن له ما يكاد يكون بالضبط نفس الكثافة فى أى اتجاه. ولو كان الكون يتمدد فى بعض الاتجاهات بأسرع مما فى اتجاهات أخرى، فإن كثافة الإشعاع فى هذه الاتجاهات كانت ستقل بمزيد من الإزاحة الحمراء.

والتنبؤات الأخرى لشرط اللاحدية يجرى الآن بحثها. وإحدى المشاكل التى تثير الاهتمام بالذات هى مشكلة حجم الانحرافات الصغيرة عن الكثافة المتسقة فى الكون المبكر والتى سببت تكوين المجرات أولا، ثم النجوم، وأخيرا تكويننا نحن. ويدل مبدأ عدم اليقين على أن الكون المبكر لا يمكن أن يكون متسقا بشكل كامل لأنه لا بد من وجود بعض أوجه عدم اليقين أو التذبذبات فى مواضع وسرعات الجسيمات. وباستخدام شرط اللاحدية، نجد أن الكون يجب حقيقة أن يكون قد بدأ بالضبط بأدنى قدر ممكن من عدم الاتساق يسمح به مبدأ عدم اليقين. وسوف يمر الكون بعدها بفترة من التمدد السريع، كما فى النماذج الانتفاخية. وأثناء هذه الفترة، فإن أوجه عدم الاتساق الابتدائية يتم تضخيمها حتى تصبح كبيرة بما يكفى لتفسير أصل البنيات التى نلاحظها فيما حولنا. وفى كون متمدد، حيث كثافة المادة فيه تختلف هونا من مكان لآخر، فإن الجاذبية سوف تتسبب فى أن تبطئ المناطق الأكثر كثافة من تمددها وتبدأ فى الانكماش. وسيؤدى هذا إلى تكوين

المجرات، والنجوم، ويؤدى حتى فى النهاية إلى تكوين مخلوقات تافهة مثلنا نحن. وهكذا فإن كل البنيات المعقدة التى نراها فى الكون يمكن تفسيرها بشرط اللاحدية للكون هو ومبدأ عدم اليقين فى ميكانيكا الكم.

وفكرة أن المكان والزمان قد يكوّنان مسطحا مغلقا بلا حد لها أيضا دلالات عميقة على فلسفة شئون الكون. ومع نجاح النظريات العلمية فى توصيف الأحداث، وصل معظم الناس إلى الإيمان بأن الكون جُعل ليتطور حسب مجموعة من القوانين التى لا تُكسر. على أن هذه القوانين لا تخبرنا بما ينبغى أن يكون الكون عليه عند بدايته. على أنه لو كان الكون حقا بلا بداية وبلا حرف، فإنه لا تكون له بداية ولا نهاية: فهو ببساطة موجود.



٩

سهم الزمان

رأينا في الفصول السابقة كيف أن آراءنا عن طبيعة الزمان قد تغيرت عبر السنين. وحتى بداية هذا القرن كان الناس يؤمنون بزمان مطلق. بمعنى أن أى حدث يمكن عنونته برقم يسمى «الزمان»، بطريقة وحيدة. فكل الساعات الجيدة تتفق على الفترة الزمنية ما بين حدثين. على أن اكتشاف أن سرعة الضوء تبدو متماثلة لكل من يلاحظها، أيا ما كانت طريقة حركته، قد أدى إلى نظرية النسبية – وفي هذه النظرية يكون على المرء أن ينبذ فكرة أن ثمة زمانا مطلقا وحيدا. وبدلا من ذلك، فإن كل ملاحظ سيكون له مقياس الزمان الخاص به كما تسجله الساعة التي يحملها: والساعات التي يحملها ملاحظون مختلفون لا تتفق بالضرورة. وهكذا أصبح الزمان مفهوما شخصيا بدرجة أكبر، منسوبا للملاحظ الذي يقيسه.

وعندما يحاول المرء توحيد الجاذبية مع ميكانيكا الكم، فإن عليه أن يدخل فكرة الزمان «التخيلي» imaginary . والزمان التخيلي لا يمكن تمييزه عن الاتجاهات في المكان. وإذا كان المرء يستطيع أن يذهب شمالا، فإنه يستطيع أن يدور ملتفا ليتجه جنوبا؛ وبما يساوى ذلك فإنه إذا كان المرء يستطيع أن يتجه أماما في الزمان التخيلي، فإنه ينبغي أن يتمكن من أن يدور ملتفا ويتجه وراء. ويعني هذا أنه لا يمكن أن يكون ثمة فارق مهم بين الاتجاهين الأمامي والخلفي للزمان التخيلي. ومن الناحية الأخرى، فعندما ينظر المرء إلى الزمان «الحقيقي»، يكون هناك فارق كبير جدا بين الاتجاهين الأمامي والخلفي، كما نعرف كلنا. من أين يأتي هذا الفارق بين الماضي والمستقبل؟ لماذا نتذكر الماضي وليس المستقبل؟

إن قوانين العلم لا تميز بين الماضي والمستقبل. وبدقة أكثر وكما تم شرحه سابقا، فإن قوانين العلم لا تتغير وهي تحت تأثير توليفة من العمليات (أو السمتريات) التي تعرف بأحرف T,P,C . (حرف C يعني إبدال مضادات الجسيمات بالجسيمات. وحرف P يعني اتخاذ صورة

مرآة، فيتم التبادل بين اليمين واليسار. وحرف T يعنى عكس اتجاه الحركة لكل الجسيمات: أى فى الواقع، تسيير الحركة وراء). وقوانين العلم التى تحكم سلوك المادة فى كل المواقف الطبيعية لا تتغير وهى تحت تأثير توليفة من العمليتين P,C بذاتهما. وبكلمات أخرى فإن الحياة ستكون هى نفسها بالضبط بالنسبة لسكان كوكب أخر ممن يكونون صورة مرآة منا وأيضا مصنوعين من مضاد المادة بدلا من المادة.

وإذا كانت قوانين العلم لا تتغير بتوليفة عمليتى P,C ، وأيضا بتوليفة عمليات T,P,C، فإنها يجب ألا تتغير أيضا تحت تأثير عملية T وحدها. على أن هناك فارقا كبيرا بين اتجاهى الأمام والوراء للزمان الحقيقى فى الحياة العادية. تصور قدح ماء يقع من على مائدة وينكسر على الأرض إلى قطع. لو أخذت لذلك فيلما سينمائيا، فإنه سيمكنك بسهولة أن تعرف إذا كان الفيلم يسير أماما أو وراء. ولو سيرته وراء فسوف ترى القطع تجمع نفسها معا فجأة من على الأرضية وتقفز عائدة لتكون قدحا كاملا على المائدة. ويمكنك أن تعرف أن الفيلم يدار للوراء لأن هذا النوع من السلوك لا يشاهد قط فى الحياة العادية. ولو كان مما يحدث لأفلس صناع الخزف.

والتفسير الذى يعطى عادة للسبب فى أننا لا نرى الأقداح المكسورة تجمع نفسها معا من على الأرضية لتثب عائدة فوق المائدة هو أنه أمر محظور بالقانون الثانى للديناميكا الحرارية. ويقول هذا إنه فى أى نظام مغلق فإن الاضطراب أو الأنتروبيا تتزايد دائما بالوقت. وبكلمات أخرى، فإنه شكل من قانون مورفى القائل بأن: الأشياء تنزع دائما لأن يختل نظامها! فالقدح السليم على المائدة هو حالة من نظام على درجة عالية، أما القدح المكسور على الأرض فهو حالة من الاضطراب. ومن السهل أن يمضى المرء من القدح الذى على المائدة فى الماضى إلى القدح المكسور على الأرضية فى المستقبل، ولكن ليس من السهل المضى فى الطريق العكسى.

وزيادة الاضطراب أو الانتروبيا هى مثل من أمثلة ما يسمى سهم الزمان، شئ ما يميز الماضى عن المستقبل، ويعطى للزمان اتجاها. وهناك على الأقل ثلاثة أسهم مختلفة للزمان. فأولا، هناك سهم ديناميكى حرارى للزمان، هو اتجاه الزمان الذى يتزايد فيه الاضطراب أو الانتروبيا. ثم هناك السهم النفسى للزمان. وهذا هو الاتجاه الذى نحس فيه بمرور الزمان، الاتجاه الذى نتذكر فيه الماضى وليس المستقبل. وأخيرا فإن هناك السهم الكونى للزمان. وهذا هو اتجاه الزمان الذى يتمدد فيه الكون بدلا من أن ينكمش.

وفى هذا الفصل سوف أحاج بأن شرط «اللاحدية» no boundary للكون، هو معا والمبدأ الإنسانى الضعيف، يستطيعان تفسير السبب فى أن الأسهم الثلاثة تشير إلى نفس الاتجاه - ويستطيعان فوق ذلك تفسير لماذا ينبغى أن يوجد على الإطلاق سهم زمان محدد بصورة دقيقة.

وسوف أحاج بأن السهم النفسى للزمان يتحدد بالسهم الديناميكى الحرارى، وأن هذين السهمين يشيران بالضرورة دائما فى نفس الاتجاه. ولو افترض المرء شرط اللاحدية للكون، فسوف نرى أنه يجب أن يوجد أسهم زمان ديناميكية حرارية وكونية ذات تحدد دقيق، ولكنها لن تشير إلى نفس الاتجاه بالنسبة لكل تاريخ الكون. على أنى سوف أحاج بأنهما عندما يشيران بالفعل إلى نفس الاتجاه فإن الظروف عند ذلك فقط تكون ملائمة لنشأة كائنات ذكية تستطيع أن تسأل عن: لماذا يزيد الاضطراب فى نفس اتجاه الزمان الذى يتمدد فيه الكون؟

وسوف أناقش أولا السهم الديناميكى الحرارى للكون. إن القانون الثانى للديناميكا الحرارية ينتج عن حقيقة أنه يوجد دائما حالات من الاضطراب أكثر بكثير مما يوجد من الحالات المنتظمة. ولننتظر مثلا أمر قطع لعبة الصور المقطعة Jigsaw وهى فى صندوق. فهناك ترتيب واحد، وترتيب واحد فقط، حيث تصنع القطع صورة كاملة. ومن الناحية الأخرى، هناك عدد كبير جدا من الترتيبات التى تكون فيها القطع مضطربة النظام ولا تصنع صورة.

هب أن نسقا قد نشأ وهو فى إحدى الحالات القليلة العدد المنتظمة. وإذ يمضى الوقت، سيتطور النسق حسب قوانين العلم وتتغير حالته. وفى وقت لاحق، سيكون الاحتمال الأكبر أن النسق سيكون فى حالة من الاضطراب أكثر من أن يكون فى حالة انتظام لأن عدد حالات الاضطراب أكثر. وهكذا فإن الاضطراب ينزع إلى أن يزيد بمضى الوقت لو أن النسق كان يخضع لحالة ابتدائية على درجة عالية من الانتظام.

هب أن قطع لعبة الصور المقطعة تبدأ فى أحد الصناديق فى الترتيب المنتظم الذى تشكل فيه صورة. لو هززت الصندوق ستتخذ القطع ترتيبا آخر. وسيكون هذا فيما يحتمل ترتيبا مضطربا حيث القطع لا تشكل صورة صحيحة، وذلك ببساطة لأن هناك ترتيبات مضطربة عددها أكبر كثيرا. وستظل بعض مجموعات القطع تشكل أجزاء من الصورة، ولكنك كلما هززت الصندوق أكثر، زاد احتمال أن تتكسر هذه المجموعات فتصبح القطع فى حالة اضطراب كاملة لا تشكل فيها أى جزء من الصورة. وهكذا فإن اضطراب القطع يزيد فيما يحتمل بمضى الوقت إذا كانت القطع تخضع فى الحالة الابتدائية التى بدأت بها لظرف من درجة نظام عالية.

هب أن الكون قد قُرر له أنه يجب أن ينتهى فى حالة من درجة انتظام عالية ولكن حالته عند بدايته هى مما لا يهم. فسيكون من المحتمل أن الكون فى العهود المبكرة كان فى حالة من الاضطراب. وسيعنى هذا أن «الاضطراب» «سيقل» بمضى الوقت. وسوف نرى أقداحا مكسورة تضم أنفسها معا وتثب عائدة فوق المائدة. وعلى أى حال فإن أى كائنات بشرية كانت ترقب الأقداح ستكون عائشة فى كون يقل فيه الاضطراب بمضى الوقت. وسوف أحاج بأن كائنات كهذه

سيكون لها سهم نفسي للزمان يتجه وراء. بمعنى أنهم سوف يتذكرون الأحداث في المستقبل، ولا يتذكرون الأحداث في الماضي. وعندما كان القدح مكسورا، فإنهم سيتذكرونه موجودا على المائدة، ولكنه عندما كان على المائدة فإنهم لن يتذكروا وجوده على الأرضية.

ومن الأمور الصعبة نوعا التحدث عن الذاكرة البشرية لأننا لا نعرف كيف يعمل المخ بالتفصيل. على أننا نعرف بالفعل كل شئ عن طريقة عمل ذاكرة الكمبيوتر. وهكذا فسوف أناقش السهم النفسي للزمان عند الكمبيوترات. واعتقد أن من المعقول أن نفترض أن سهم، الكمبيوترات مماثل لسهم البشر. فهو لو لم يكن كذلك، لاستطاع المرء أن يفوز بربح هائل مفاجئ في بورصة الأوراق المالية بأن يكون لديه كمبيوتر يتذكر أسعار الغد!

وذاكرة الكمبيوتر هي أساسا أداة لاحتواء عناصر يمكن أن توجد في إحدى حالتين. والمثل البسيط لذلك هو المعداد. وهو في أبسط أشكاله يتكون من عدد من الأسلاك؛ وعلى كل سلك خرزة يمكن وضعها في أحد وضعين. وقبل أن يُسجل بند ما في ذاكرة الكمبيوتر، تكون الذاكرة في حالة من الاضطراب، مع تساوي الاحتمالات بالنسبة للحالتين الممكنتين. (خرز المعداد مبعثر عشوائيا على أسلاكه). وبعد أن تتفاعل الذاكرة مع النسق لتصبح مُتذكَّرة، فإنها تكون بالتأكيد إما في هذه الحالة أو الأخرى، حسب حالة النسق. (كل خرزة في المعداد ستكون إما على يسار أو يمين سلك المعداد). وهكذا فإن الذاكرة قد مرت من حالة اضطراب إلى حالة انتظام. وعلى كل، فإنه حتى يتم التأكد من أن الذاكرة هي في الحالة الصحيحة، فإنه من الضروري استخدام قدر معين من الطاقة (أن تُحرك الخرزة مثلا أو يوصَّل مصدر القوى للكمبيوتر). وهذه الطاقة تتفرق على شكل حرارة، وتزيد قدر الاضطراب الذي في الكون. ويمكن للمرء أن يبين أن هذا الاضطراب يكون دائما أكبر من الزيادة في نظام الذاكرة نفسه.. وهكذا فإن الحرارة المطرودة بواسطة مروحة الكمبيوتر المبردة تعني أنه عندما يسجل الكمبيوتر بندا في الذاكرة، فإن القدر الكلي للاضطراب في الكون سيظل في ازدياد. واتجاه الزمان الذي يتذكر به أحد الكمبيوترات الماضي هو مماثل للاتجاه الذي يزيد فيه الاضطراب.

وهكذا فإن إحساسنا الذاتي بالزمان، السهم النفسي للزمان، يتحدد إذن داخل مخنا بالسهم الديناميكي الحراري للزمان. ومثل الكمبيوتر تماما، فإننا يجب أن نتذكر الأشياء في الاتجاه الذي تزيد فيه الانتروبيا. وهذا يجعل من القانون الثاني للديناميكا الحرارية شيئا يكاد يكون مبتذلا. فالاضطراب يزيد بمرور الوقت لأننا نقيس الزمان في الاتجاه الذي يزيد فيه الاضطراب. ولا يمكن أن تراهن رهانا أكثر أمنا من ذلك!

ولكن لماذا ينبغي أن يكون هناك على الإطلاق سهم ديناميكي حراري للزمان؟ أو بكلمات

أخرى، لماذا ينبغى أن يكون الكون فى حالة من درجة انتظام عالية عند أحد طرفى الزمان، الطرف الذى نسميه الماضى؟ ولماذا لا يكون الكون فى حالة من الاضطراب الكامل فى كل الأوقات؟ ورغم كل شيء، فإن هذا هو ما قد يبدو الأكثر احتمالا. ولماذا يكون اتجاه الزمان الذى يزيد فيه الاضطراب هو نفس الاتجاه الذى يتمدد فيه الكون؟

فى النظرية الكلاسيكية للنسبية العامة لا يمكن المرء أن يتنبأ بالطريقة التى بدأ بها الكون لأن كل قوانين العلم المعروفة ستنهار عند مفردة الانفجار الكبير. وقد يكون من الممكن أن الكون قد بدأ فى حالة هى جد مستوية ومنتظمة وسيكون هذا مما يؤدى إلى أسهم محددة بدقة للزمان الديناميكى الحرارى والزمان الكونى، بمثل ما نلاحظ . ولكن قد يكون مما يساوى ذلك إمكانا أن الكون قد بدأ فى حالة وعورة واضطراب شديدين. وفى هذه الحالة سيكون الكون بالفعل فى حالة من اضطراب كامل، وهكذا فإن الاضطراب لا يمكن أن يزيد بمرور الوقت. وهو إما أن يبقى ثابتا، وفى هذه الحالة فلن يكون ثمة سهم محدد بدقة للزمان الديناميكى الحرارى، أو أنه سينقص، وفى هذه الحالة فإن سهم الزمان الديناميكى الحرارى سيشير إلى الاتجاه المضاد للسهم الكونى. ولا يتفق أى من هذين الاحتمالين مع ما نلاحظه. وعلى كل، فكما سبق أن رأينا، فإن النسبية العامة الكلاسيكية تتنبأ بسقوطها هى نفسها. وعندما يصبح انحناء المكان – الزمان كبيرا، تصبح تأثيرات الكم للجاذبية مهمة وتتوقف النظرية الكلاسيكية عن أن تكون توصيفا جيدا للكون. ويصبح على المرء أن يستخدم نظرية كم للجاذبية حتى يفهم كيف بدأ الكون.

وكما رأينا فى الفصل الأخير، فإنه حتى توصّف نظرية الكم للجاذبية حالة الكون فإنه سيظل على المرء أن يذكر كيف تسلك التواريخ المحتملة للكون عند حد المكان – الزمان فى الماضى. ويستطيع المرء تجنب هذه الصعوبة من أن يكون علينا توصيف ما لا نعرف وما لا نستطيع أن نعرف، وذلك فقط إذا كانت التواريخ تفى بشرط اللاحدية: أى أنها متناهية فى مداها. ولكن ليس لها حدود، أو أحرف، أو مفردات. وفى هذه الحالة، فإن بداية الزمان ستكون نقطة منتظمة مستوية من المكان – الزمان ويكون الكون قد بدأ تمدده فى حالة جد منتظمة ومستوية. ولكنه لا يمكن أن يكون متسقا بالكامل، لأن هذا سيكون انتهاكا لمبدأ عدم اليقين بنظرية الكم. وإنما يجب أن يكون ثمة تذبذبات صغيرة فى كثافة وسرعات الجسيمات. على أن شرط اللاحدية يعنى أن هذه التذبذبات تكون صغيرة بقدر ما يمكن، بما يتفق ومبدأ عدم اليقين.

وسيكون الكون قد بدأ بفترة من التمدد الأسّى أو «الانتفاخى»، حيث يزيد من حجمه بمعامل كبير جدا. وأثناء هذا التمدد، تظل تذبذبات الكثافة صغيرة فى أول الأمر، ولكنها فيما بعد تبدأ فى الزيادة. والمناطق التى تكون الكثافة فيها أكثر هونا من المتوسط سيبطئ تمددها بسبب شد

الجانبية للكتلة الإضافية. وفى النهاية، فإن هذه المناطق ستتوقف عن التمدد وتتقلص لتشكل المجرات، والنجوم، وكائنات مثلنا. ويكون الكون قد بدأ فى حالة مستوية منتظمة، ليصبح وعرا مضطربا بمرور الوقت. وسيفسر هذا وجود السهم الديناميكى الحرارى للزمان.

ولكن ماذا سيحدث إذا / وعندما يتوقف الكون عن التمدد ويبدأ فى الانكماش؟ هل سينعكس السهم الديناميكى الحرارى ويبدأ الاضطراب يقل بمضى الوقت؟ إن هذا سيؤدى لكل صنوف الاحتمالات التى من نوع يشبه الروايات العلمية وذلك بالنسبة للناس الذين سيبقون أحياء من طور التمدد حتى طور الانكماش. هل سيرون الأقداح المكسورة تجمع نفسها معا من على الأرضية وتثب عائدة فوق المائدة؟ هل سيمكنهم أن يتذكروا أسعار الغد وأن يكسبوا ثروة من سوق الأوراق المالية؟ وقد يبدو من الأكاديمى بعض الشئ أن ننشغل بما سوف يحدث عندما يتقلص الكون ثانية، لأنه لن يبدأ فى الانكماش قبل مالا يقل عن عشرة آلاف مليون سنة أخرى. على أن ثمة طريقة أسرع لمعرفة ما سيحدث : هى القفز فى ثقب أسود. إن تقلص أحد النجوم ليشكل ثقبا أسود يشبه نوعا المراحل المتأخرة لتقلص الكون كله. وهكذا فإنه إذا كان الاضطراب سيقل فى طور الانكماش للكون، فإن المرء قد يتوقع له أيضا أن يقل فى الثقب الأسود. وهكذا فلعل الفلكى الذى سيسقط فى الثقب الأسود سيتمكن من كسب النقود فى لعبة الروليت بأن يتذكر أين ذهبت الكرة قبل أن يضع رهانه. (على أنه لسوء الحظ لن يتاح له زمن طويل للعب قبل أن يتم تحويله إلى اسباجتى. ولا حتى هو سيستطيع أن يجعلنا نعرف شيئا عن عكس اتجاه السهم الديناميكى الحرارى، ولا حتى أن يضع مكاسبه فى البنك لأنه سيقع محصورا وراء أفق حدث الثقب الأسود).

وقد اعتقدت فى أول الأمر أن الاضطراب سيقل عندما يتقلص الكون ثانية. وسبب ذلك أنى اعتقدت أن الكون سيكون عليه أن يعود إلى حالة مستوية منتظمة عندما يصبح صغيرا ثانية. وسيعنى هذا أن طور الانكماش سيكون بمثابة العكس الزمانى لطور التمدد. والناس فى طور الانكماش سيعيشون حياتهم وراء: فهم سيموتون قبل ولادتهم، ويصبحون أكثر شبابا كلما انكمش الكون.

إنها لفكرة جذابة لأنها تعنى سمترية لطيفة بين طورى التمدد والانكماش. على أن المرء لا يستطيع أن يقر بها فى حد ذاتها، مستقلة عن الأفكار الأخرى عن الكون. والسؤال هو: هل هى مما يدل عليه شرط اللاحدية، أو هى مما لا يتفق مع هذا الشرط؟ وكما سبق أن قلت، فقد اعتقدت أول الأمر أن شرط اللاحدية يدل حقا على أن الاضطراب سيقل فى طور الانكماش. وقد خُدعت جزئيا بقياس التماثل مع سطح الأرض. ولو أخذ المرء بداية الكون على أنها تقابل القطب الشمالى، فإن نهايته إذن ينبغى أن تكون مماثلة للبداية، تماما مثلما يُماثل القطب الجنوبى القطب الشمالى،

على أن القطب الشمالي والجنوبي يقابلان بداية ونهاية الكون في الزمان التخيلي. أما البداية والنهاية في الزمان الحقيقي فقد تختلف إحداها عن الأخرى اختلافا بالغا. كما خُدعت أيضا ببحث قمت به على نموذج بسيط للكون حيث الطور المتقلص يبدو كأنه العكس الزماني للطور المتمدد. على أن زميلا لي، هو دون بيج بجامعة ولاية بنسلفانيا وضح أن شرط اللاحدية لا يتطلب بالضرورة أن يكون الطور المنكمش هو العكس الزماني للطور المتمدد. وفوق ذلك. فإن واحدا من طلبتي، وهو ريموند لافلام، وجد أنه في نموذج أكثر تعقدا بدرجة هينة، يكون تقلص الكون مختلفا جدا عن التمدد. وتحققت من أنى قد ارتكبت خطأ: إن شرط اللاحدية يدل على أن الاضطراب في الحقيقة سيستمر في التزايد أثناء الانكماش. وسهما الزمان الديناميكي الحراري والنفسي لن ينعكسا عندما يبدأ الكون في الانكماش ثانية، أو لن ينعكسا في داخل الثقوب السوداء.

ما الذي ينبغي أن تفعله عندما تعرف أنك قد ارتكبت خطأ مثل هذا؟ بعض الناس لا يقرون قط بأنهم على خطأ. وحتى يدعموا قضيتهم فإنهم يواصلون البحث عن حجج جديدة، كثيرا ما تكون غير متماسكة بصورة متبادلة – كما فعل ادنجتون عند معارضة نظرية الثقب الأسود. ويزعم آخرون أنهم في الحقيقة لم يدعموا قط في المكان الأول النظرة غير الصحيحة، أو أنهم إذا كانوا قد فعلوا، فما كان ذلك إلا لتوضيح أنها غير متماسكة.

ويبدو لي أنك لو اعترفت كتابة بأنك على خطأ يكون هذا أفضل كثيرا وأقل بلبلة. وإينشتين كان مثلا طيبا لذلك، عندما أطلق على الثابت الكوني الذي أدخله وهو يحاول صنع نموذج ستاتيكي للكون، أنه أكبر خطأ في حياته.

وإذ نعود إلى سهم الزمان، فإنه يبقى هناك سؤال : لماذا نلاحظ بالفعل أن السهمين الديناميكي الحراري والكوني يشيران إلى نفس الاتجاه؟ أو بكلمات أخرى، لماذا يزيد الاضطراب في نفس اتجاه الزمان الذي يتمدد فيه الكون؟ إذا كان المرء يؤمن بأن الكون سيتمدد ثم ينكمش ثانية، كما يدل شرط اللاحدية فيما يبدو، فإن هذا يصبح سؤالا عن السبب في أننا ينبغي أن نكون في الطور المتمدد بدلا من الطور المنكمش.

ويمكن للمرء أن يجيب عن ذلك على أساس المبدأ الإنساني الضعيف. فالظروف في الطور المنكمش لن تكون ملائمة لوجود كائنات حية ذكية تستطيع أن تسأل: لماذا يزيد الاضطراب في نفس اتجاه الزمان الذي يتمدد فيه الكون؟ والانتفاخ في أطوار الكون المبكرة، والذي يتنبأ به شرط اللاحدية، يعني أن الكون يتمدد ولا بد بالسرعة القريبة جدا من السرعة الحرجة التي يتفادى عندها بالضبط أن يتقلص ثانية، وهكذا فإن لن يتقلص ثانية لزمن طويل جدا. وعند ذاك ستكون كل النجوم قد احترقت ومن المحتمل أن البروتونات والنيوترونات التي فيها ستتحلل إلى جسيمات ضوء

وإشعاع. وسيكون الكون في حالة تكاد تقترب من الاضطراب الكامل وإن يكون ثمة سهم قوى للزمان الديناميكي الحراري. ولا يمكن أن يزيد الاضطراب كثيرا لأن الكون سيكون بالفعل في حالة تكاد تكون اضطرابا كاملا. على أن وجود سهم ديناميكي حراري قوى هو من الضروري حتى تعمل الحياة الذكية. فحتى يمكن الكائنات البشرية أن تبقى، يكون عليها أن تستهلك الطعام، الذي هو شكل منتظم من الطاقة، ثم أن تحوله إلى الحرارة، التي هي شكل مضطرب للطاقة. وهكذا فإن الحياة الذكية لا يمكن أن توجد في الطور المنكمش للكون. وهذا هو تفسير السبب في أننا نلاحظ أن سهمي الزمان الديناميكي الحراري والزمان الكوني يشيران إلى نفس الاتجاه، وليس السبب أن تمدد الكون هو الذي يسبب تزايد الاضطراب. والأولى، هو أن شرط اللاحدية يسبّب تزايد الاضطراب وأن تكون الظروف ملائمة للحياة الذكية في الطور المتمدد فقط.

وللتلخيص ، فإن قوانين العلم لا تميز بين اتجاهي الزمان أماما ووراءً. على أن هناك على الأقل ثلاثة أسهم للزمان تميز بالفعل الماضي من المستقبل. وهي السهم الديناميكي الحراري، اتجاه الزمان الذي يتزايد فيه الاضطراب؛ والسهم النفسي، اتجاه الزمان الذي نتذكر فيه الماضي لا المستقبل؛ والسهم الكوني، اتجاه الزمان الذي يتمدد فيه الكون بدلا من أن ينكمش. وقد بينت أن السهم النفسي هو في جوهره مماثل للسهم الديناميكي الحراري: وهكذا فإن الاثنين يشيران دائما في نفس الاتجاه. وفرض اللاحدية للكون يتنبأ بوجود سهم محدد تحديدا دقيقا للزمان الديناميكي الحراري لأن الكون يجب أن يبدأ في حالة مستوية منتظمة. والسبب في أننا نلحظ أن هذا السهم الديناميكي الحراري يتفق والسهم الكوني هو أن الكائنات الذكية لا يمكن أن توجد إلا في الطور المتمدد. فالطور المنكمش سيكون غير ملائم لأنه ليس له سهم قوى للزمان الديناميكي الحراري.

وتقدم الجنس البشرى في فهم الكون قد أرسى ركنا صغيرا من النظام في كون يتزايد اضطرابه. ولو أنك تذكرت كل كلمة في هذا الكتاب، فإن ذاكرتك تكون قد سجلت ما يقرب من مليوني قطعة من المعلومات: وسيكون النظام قد زاد في مخك بما يقرب من مليوني وحدة. على أنك أثناء قراءتك للكتاب، ستكون قد حولت على الأقل ألف ألف سعر حرارى من الطاقة المنتظمة على شكل طعام، إلى طاقة مضطربة على شكل حرارة، تفقدها في الهواء من حولك بواسطة الحمل الحرارى والعرق. وسوف يُزيد ذلك من اضطراب الكون بما يقرب من ٢٠ مليون مليون مليون مليون وحدة – أو ما يقرب من عشرة مليون مليون مليون ضعف لزيادة النظام في مخك – هذا إذا كنت تتذكر «كل شيء» في هذا الكتاب. وفي الفصل التالى سأحاول أن أزيد النظام في رؤوسنا أكثر قليلا بأن أفسر كيف يحاول الناس أن يواءموا معا النظريات الجزئية التي وصفتها ليشكلوا نظرية كاملة موحّدة تغطى كل شيء في الكون.

○○○

١٠

توحيد الفيزياء

كما سبق شرحه فى الفصل الأول، فإنه ليكون من الصعب جدا بناء نظرية كاملة موحدة لكل شئ فى الكون دفعة واحدة. وهكذا، فإننا بدلا من ذلك قد تقدمنا بأن أوجدنا نظريات جزئية توصِّف مدى محدودا من الأحداث، وبأن أهملنا عوامل التأثير الأخرى أو قربناها لأرقام معينة. (الكيمياء مثلا، تتيح لنا حساب تفاعلات الذرات، دون أن نعرف البنية الداخلية لنواة الذرة). على أن المرء يأمل فى النهاية، أن يجد نظرية كاملة متماسكة موحدة تتضمن كل هذه النظريات الجزئية كتقريبات، ولا تحتاج لأن تُعدَّل لتتوام مع الحقائق بأن تُلتقط فى النظرية قيم أرقام معينة تعسفية. والبحث عن نظرية كهذه يعرف بـ «توحيد الفيزياء». وقد أنفق إينشتين معظم سنواته الأخيرة وهو يبحث بلا نجاح عن نظرية موحدة، على أن الوقت لم يكن مواتيا لذلك: فقد كان هناك نظريات جزئية عن الجاذبية، والقوة الكهرومغنطية، ولكن لم يكن يُعرف إلا القليل عن القوى النووية. وفوق ذلك فإن إينشتين كان يرفض الإيمان بحقيقة ميكانيكا الكم، رغم الدور المهم الذى لعبه فى إنشائها. على أنه يبدو أن مبدأ عدم اليقين هو ملمح أساسى للكون الذى نعيش فيه. والنظرية الموحدة الناجحة يجب إذن أن تتضمن بالضرورة هذا المبدأ.

وكما سنبين، فإن توقعات العثور على هذه النظرية تبدو الآن أفضل كثيرا لأننا نعرف عن الكون ما هو أكثر كثيرا. على أننا ينبغى أن نحذر من الإفراط فى الثقة – فقد ظهر لنا أكثر من فجر كاذب من قبل! ففى بداية هذا القرن مثلا، كان من المعتقد أنه يمكن تفسير كل شئ بوجود خواص المادة المستمرة، مثل المرونة وتوصيل الحرارة. على أن اكتشاف البنية الذرية ومبدأ عدم اليقين وضع نهاية أكيدة لذلك. ومرة أخرى فإن الفيزيائى ماكس بورن الحائز على جائزة نوبل، ذكر فى ١٩٢٨ لمجموعة من الزائرين لجامعة جوتنجن أن «الفيزياء، كما نعرفها، ستنتهى بعد ستة شهور». وكانت ثقته مؤسسة على اكتشاف ديراك الحديث للمعادلة التى تتحكم فى الالكترون، وكان من المعتقد أن ثمة معادلة مماثلة ستحكم البروتون، الذى كان الجسيم الآخر الوحيد المعروف وقتها،

وأن هذا سيكون ختام الفيزيائيات النظرية. على أن اكتشاف النيوترون والقوى النووية أصاب هذه أيضا في مقتل. وإذ أقول ذلك، فإنني ما زلت أومن بأن هناك أسسا للتفاؤل الحذر بأننا قد نكون الآن قريبين من نهاية البحث عن القوانين النهائية للطبيعة.

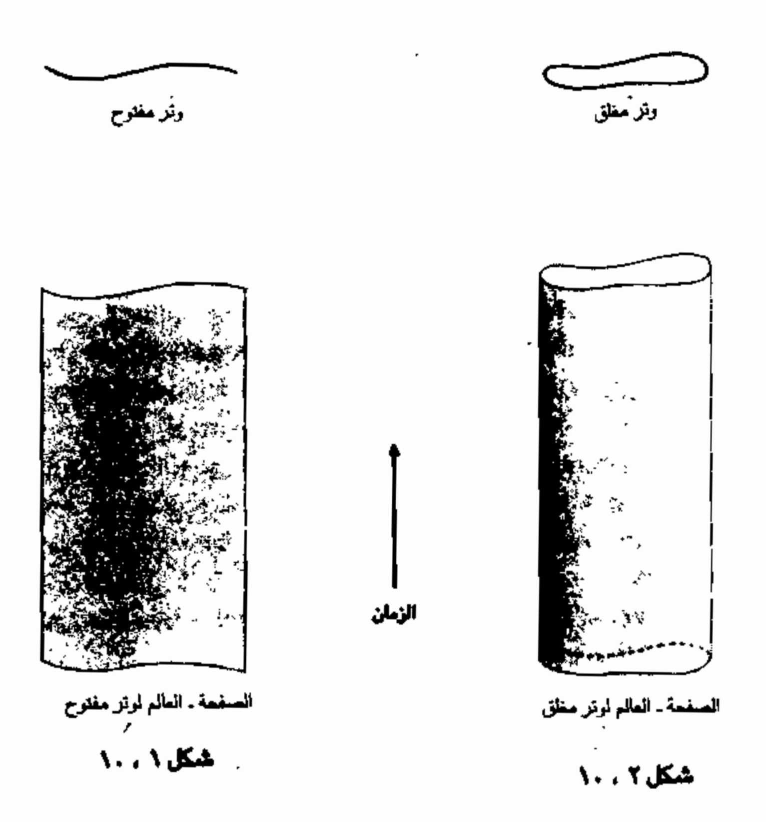
وقد وصفت في الفصول السابقة النسبية العامة، والنظرية الجزئية عن الجاذبية، والنظريات الجزئية التي تحكم القوى الضعيفة، والقوية، والكهرومغنطية. والقوى الثلاث الأخيرة يمكن جمعها فيما يسمى النظريات الموحدة الكبرى Grand anified theoies أو Guts ، وهي ليست جد مرضية لأنها لا تتضمن الجاذبية ولأنها تحوى عددا من الكميات، مثل الكتل النسبية للجسيمات المختلفة، لا يمكن التنبؤ بها من النظرية ولكنها مما يلزم اختياره ليتلاءم مع المشاهدات. والصعوبة الرئيسية في إيجاد نظرية توحد الجاذبية مع القوى الأخرى هي أن النسبية العامة نظرية «كلاسيكية»؛ أي أنها لا تتضمن مبدأ عدم اليقين لميكانيكا الكم. ومن الناحية الأخرى، فإن النظريات الجزئية الأخرى تعتمد على ميكانيكا الكم بصورة جوهرية. وإذن فإن الخطوة الأولى الضرورية، هي ضم النسبية العامة مع مبدأ عدم اليقين. وكما رأينا، فإن هذا قد ينتج عنه بعض نتائج رائعة، مثل أن الثقوب السوداء لا تكون سوداء، وأن الكون ليس فيه أي مفردات. وليس له حد. والمشكلة كما شُرحت في الفصل السابع، هي أن مبدأ عدم اليقين يعني أنه حتى الفضاء «الخاوي» يمتلئ بأزواج من جسيمات ومضادات جسيمات تقديرية. وهذه الأزواج لها قدر لا متناهٍ من الطاقة، وبالتالي حسب معادلة إينشتين المشهورة $E = mc^2$ ، فإنها سيكون لها قدر لا متناهٍ من الكتلة. وهكذا فإن شد جاذبيتها سيجعل الكون منحنيا إلى حجم لا متناهٍ في صغره.

ويكاد يماثل ذلك، ما يبدو من وقوع لا متناهيات عبثية في النظريات الجزئية الأخرى، ولكن اللامتناهيات في كل هذه الأحوال يمكن إلغاؤها بعملية تسمى إعادة التطبيع -Renormaliz tion . ويتضمن ذلك إلغاء اللامتناهيات بإدخال لامتناهيات أخرى. ورغم أن هذا التكنيك مشكوك فيه رياضيا إلى حد ما، إلا أنه يبدو مما يصلح فعلا في التطبيق، وقد استخدم مع هذه النظريات لصنع تنبؤات تتفق مع المشاهدات إلى حد دقيق على نحو خارق. على أن إعادة التطبيع له عيب خطير من وجهة نظر محاولة إيجاد نظرية كاملة، لأنه يعني أن القيم الفعلية للكتل ولشدة القوى لا يمكن التنبؤ بها من النظرية، وإنما ينبغي اختيارها لتتوام مع المشاهدات.

وعند محاولة إدماج مبدأ عدم اليقين في النسبية العامة، سيكون لدى المرء كميّن فقط يمكن تعديلهما : شدة الجاذبية، وقيمة الثابت الكوني. ولكن تعديل هذين لا يكفي لإزالة كل اللامتناهيات. وإذن فسيكون لدى المرء نظرية يبدو أنها تتنبأ بأن مقادير معينة، مثل منحنى المكان – الزمان، هي حقا لامتناهية، إلا أن هذه المقادير يمكن بالمشاهدة والقياس أن تكون متناهية تماما! وهذه المشكلة

للجمع بين النسبية العامة ومبدأ عدم اليقين قد ثار الشك بشأنها لفترة ما، ولكنها تأكدت نهائيا بحسابات تفصيلية فى ١٩٧٢. وتم بعدها بأربع سنين، طرح حل محتمل يسمى الجاذبية الفائقة Supergravity . والفكرة هى ضم جسيم لف ٢، المسمى الجرافيتون ، والذى يحمل قوة الجاذبية، مع جسيمات أخرى جديدة معينة من لف $\frac{٣}{٢}$ ، و١، ونصف، وصفر. وبمعنى ما، فإن هذه الجسيمات كلها يمكن آنذاك النظر إليها كأوجه مختلفة لنفس «الجسيم الفائق»، وهكذا تتوحد جسيمات المادة من لف نصف، و $\frac{٣}{٢}$ ، مع جسيمات حمل القوة من لف صفر، وواحد، و٢. وأزواج الجسيم / مضاد الجسيم التقديرية من لف نصف، و $\frac{٣}{٢}$ ستكون ذات طاقة سالبة، وهكذا فإنها تنزع إلى إلغاء الطاقة الموجبة للأزواج التقديرية من لف ٢ ، وواحد، وصفر. وسيسبب ذلك إلغاء الكثير من اللامتناهيات المحتملة، على أنه مما يُشك فيه أن بعض اللامتناهيات قد تظل باقية. على أن الحسابات المطلوبة لمعرفة ما إذا كان يوجد أو لا يوجد أى لامتناهيات باقية ولم تلغ، هى حسابات من الطول والصعوبة بحيث أن أحدًا لم يكن على استعداد للقيام بها. وحتى مع استخدام الكمبيوتر، فإن من المحقق أنها ستستغرق على الأقل أربعة أعوام، والاحتمالات كبيرة جدا لأن يرتكب المرء خطأ واحدا على الأقل، وربما أكثر. وهكذا فإن المرء لن يعرف أنه حصل على الإجابة الصحيحة إلا إذا أعاد شخص آخر الحساب وحصل على نفس الإجابة ، ولا يبدو هذا من الأمور جد المحتملة!

ورغم هذه المشاكل، ورغم حقيقة أن الجسيمات فى نظريات الجاذبيّة الفائقة لا يبدو أنها تتفق مع ما يلاحظ من الجسيمات، فإن معظم العلماء قد آمنوا بأن الجاذبية الفائقة هى فيما يحتمل الإجابة الصحيحة عن مشكلة توحيد الفيزياء. وهى فيما يبدو أفضل طريقة لتوحيد الجاذبية مع القوى الأخرى. على أنه حدث تغير ملحوظ فى الرأى فى عام ١٩٨٤، فى صف ما يسمى نظريات الوتر. والأشياء الأساسية فى هذه النظريات ليست هى الجسيمات، التى تشغل نقطة واحدة فى المكان، وإنما هى أشياء لها طول وليس لها أى بعد آخر، مثل قطعة من وتر رفيع إلى ما لا نهاية له. وهذه الأوتار قد تكون ذات طرفين (ما يسمى الأوتار المفتوحة) أو قد تكون متصلة بذاتها فى حلقات مغلقة (الأوتار المغلقة) (شكل ١ - ١٠ وشكل ٢ - ١٠) . والجسيم يشغل نقطة واحدة من المكان عند كل لحظة من الزمان وهكذا فإن تاريخه يمكن تمثيله بخط فى المكان - الزمان (الخط - العالم) . والوتر، من الناحية الأخرى، يشغل خطا فى المكان عند كل لحظة من الزمان. وهكذا فإن تاريخه فى المكان – الزمان هو مسطح من بعدين يسمى الصفحة – العالم. (أى نقطة على هذه الصفحة – العالم يمكن وصفها برقمين: أحدهما يعين الزمان والآخر يعين موضع النقطة على

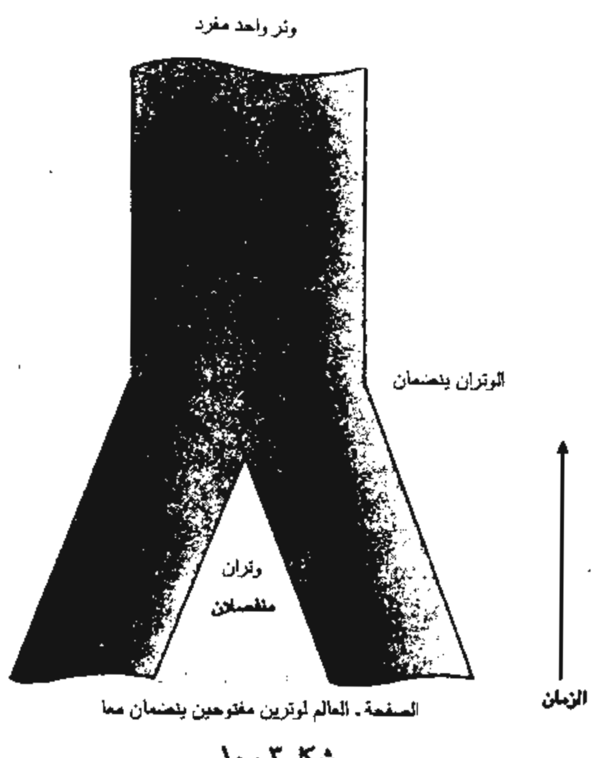


شكل ١٠ ، ١

شكل ١٠ ، ٢

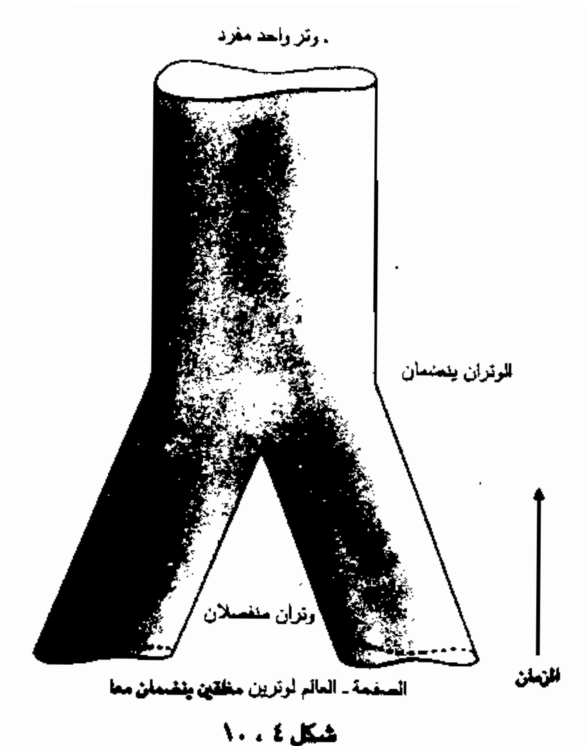
الوتر) . والصفحة ـ العالم للوتر المفتوح هى شريط؛ وأحرفه تمثل مسارات طرفى الوتر خلال المكان ـ الزمان (شكل ١ . ١٠) . والصفحة ـ العالم لوتر مغلق هى أسطوانة أو أنبوبة (شكل ٢ . ١٠)؛ والشريحة التى تقطع من خلال الأنبوبة هى دائرة، تمثل موضع الوتر عند زمن معين واحد.

ويمكن لقطعتين من الأوتار أن ينضما معا ليشكلا وترا واحدا؛ وفى حالة الأوتار المفتوحة فإنها تنضم ببساطة عند أطرافها (شكل ٣ . ١٠)، بينما فى حالة الأوتار المغلقة فإن الأمر يشبه



شكل ٣ . ١٠

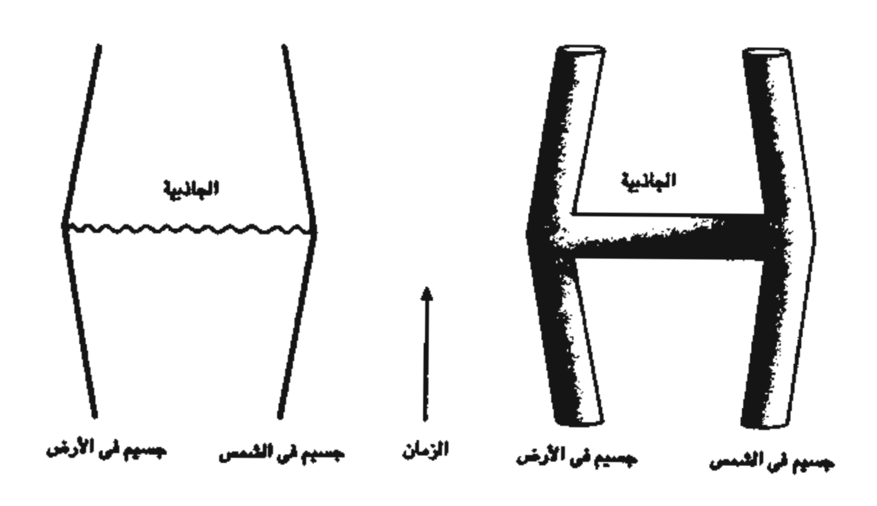
ساقين ينضمان كما فى ساقى السربال (البنطلون) (شكل ٤ . ١٠) . وبالمثل فإن قطعة وتر واحدة قد تنقسم إلى وترين. وفى نظريات الأوتار، فإن ما كان يظن سابقا أنه جسيمات يصور الآن كموجات تنتقل عبر الوتر، كما تنتقل الموجات على الوتر المتذبذب للعبة الطائرة الورقية. وانبعاث أو امتصاص جسيم بواسطة جسيم آخر يقابله انقسام أو انضمام الأوتار معا. وكمثل، فإن قوة جاذبية الشمس على الأرض قد صورت فى نظريات الجسيم على أنها تتسبب عن انبعاث جرافيتون من جسيم فى الشمس وامتصاصه بجسيم فى الأرض (شكل ٥ . ١٠) . وفى نظرية الوتر، تناظرَ هذه العملية أنبوبة أو ماسورة على شكل حرف H (شكل ٦ . ١٠) (نظرية الوتر تشبه



شكل ٤ ، ١٠

السباكة إلى حد ما). والجانبان الرأسيان لحرف H يناظران الجسيمات في الشمس والأرض والقاطع الأفقي يناظر الجرافيتون الذي ينتقل بينهما.

ولنظرية الوتر تاريخ عجيب. فقد ابتكرت أصلا في أواخر الستينيات من هذا القرن في محاولة لإيجاد نظرية توصف القوة القوية. وكانت الفكرة هي أن الجسيمات مثل البروتون



شكل ١٠،٥

شكل ١٠،٦

والنيوترون يمكن النظر إليها كموجات على وتر. والقوى القوية بين هذه الجسيمات تناظر قطع الأوتار التي تمتد بين أجزاء أخرى من التر، كما في نسيج العنكبوت. وحتى تعطى هذه النظريات القيمة المشاهدة للقوة القوية بين الجسيمات، فإن الأوتار ينبغي أن تكون مثل أربطة مطاطية لها قوة شد تقرب من عشرة أطنان.

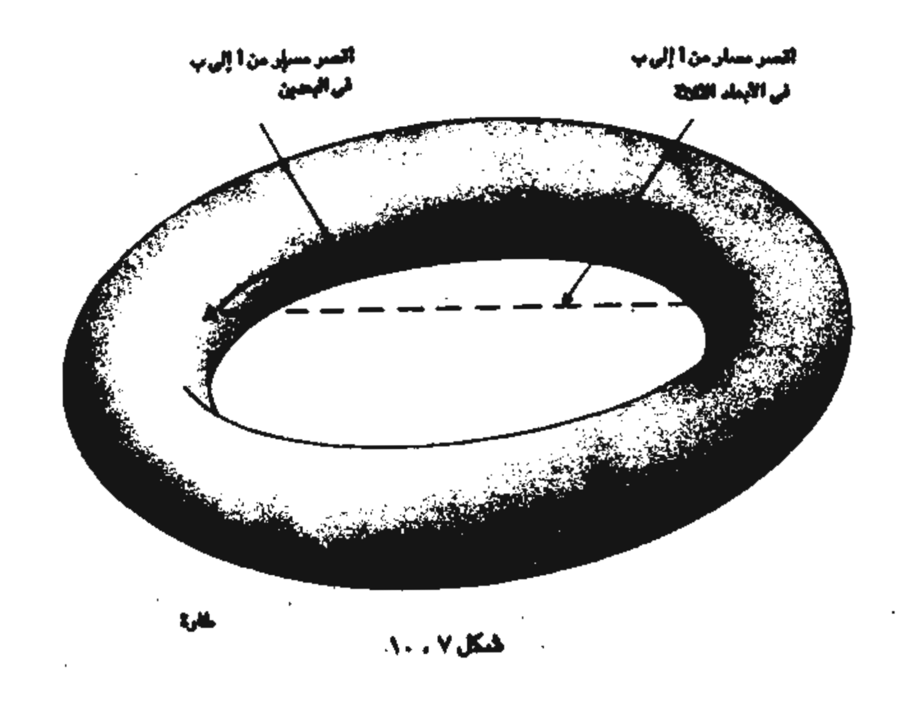
وفي عام ١٩٧٤ نشر جويل شيرك من باريس، وجول شوارتز من معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا، ورقة بحث بينا فيها أن نظرية الوتر يمكن أن توصّف قوة الجاذبية، ولكن على أن يكون توتر الوتر أعلى كثيرا جدا، أي بما يقرب من ألف مليون مليون مليون مليون مليون طن (واحد يعقبه تسعة وثلاثون صفرا). وتنبؤات نظرية الوتر تكون مماثلة بالضبط لتنبؤات النسبية العامة، فيما يتعلق بالمقاييس الطولية الطبيعية، ولكنها تختلف عند الأبعاد الصغيرة جدا، التي تقل عن جزء من ألف مليون مليون مليون مليون جزء من السنتيمتر (سنتيمتر مقسوم على واحد يعقبه ثلاثة وثلاثون صفرا). على أن بحثهما لم يقابل باهتمام كبير. لأن معظم الناس فيما يكاد يكون ذلك الوقت بالضبط كانوا قد نبذوا نظرية الوتر الأصلية عن القوى القوية ليحبذوا نظرية تتأسس على الكواركات والجلونات، بدا أنها تتلاءم مع المشاهدات تلاؤما أفضل كثيرا. ومات

شيرك في ظروف مأساوية (كان يعاني من البول السكري، وراح في غيبوبة دون أن يكون هناك أحد بجواره ليحقنه بالانسولين). وهكذا خُلف شوارتز وحيدا، وهكذا يكون المؤيد الوحيد لنظرية الوتر، إلا أنها الآن قد افتُرض لها قيمة توتر للوتر أعلى كثيرا.

وفي عام ١٩٨٤ عاد فجأة إلى الحياة الاهتمام بالأوتار، وذلك فيما يظهر لسببين: أحدهما، أن الناس لم يصلوا حقا إلى الكثير من التقدم من حيث إيضاح أن الجانبية الفائقة متناهية أو أنها يمكن أن تفسر أنواع الجسيمات التي نلاحظها.والآخر، ما تم من نشر ورقة بحث لجون شوارتز ومايك جرين من كلية الملكة ماري بلندن، تبين أن نظرية الوتر قد تستطيع أن تفسر وجود جزئيات هي جبلّيا عسراء، مثل بعض الجسيمات التي نلاحظها. وأيّا ما كانت الأسباب، فسرعان ما بدأ عدد كبير من الناس في العمل على نظرية الوتر وتم إنشاء نسخة جديدة، هي ما يسمى بالوتر المتنامي Heterotic التي بدت وكأنها قد تستطيع تفسير أنواع الجسيمات التي نلاحظها.

ونظريات الوتر تؤدي أيضا إلى اللامتناهيات، على أنه يُعتقد أنها كلها ستُلغى في النسخ من مثل نسخة الوتر المتنامي (وإن كان هذا لم يعرف بعد على وجه اليقين). على أن نظريات الوتر، لها مشكلة أكبر: فهي لا تبدو متماسكة إلا إذا كان للمكان ـ الزمان إما عشرة أبعاد أو ستة وعشرون بعدا، بدلا من الأبعاد الأربعة المعتادة! وبالطبع، فإن الأبعاد الإضافية للمكان – الزمان هي أمر شائع في الرواية العلمية؛ والحقيقة أنها تكاد تكون ضرورية، وإلا فإن حقيقة أن النسبية تدل على عدم استطاعة المرء على الانتقال بأسرع من الضوء ستعني أن الانتقال بين النجوم والمجرات سيستغرق زمنا أطول كثيرا مما ينبغي. والفكرة في الرواية العلمية هي أنه ربما سيمكن للمرء أن يتخذ طريقا مختصرا من خلال بعد أعلى. ويمكن للمرء أن يصور ذلك بالطريقة التالية: تخيل أن الفضاء الذي نعيش فيه له فقط بعدين وأنه منحني مثل سطح حلقة مرساة أو طارة (شكل ٧ ـ ١٠) ولو كنت عند جانب من الحرف الداخلي من الحلقة وأردت أن تصل إلى نقطة على الجانب الآخر، سيكون عليك أن تدور ملتفا على الحرف الداخلي للحلقة. على أنه لو كان في استطاعتك أن تنتقل في البعد الثالث فإنك تستطيع أن تعبر طريقك مباشرة.

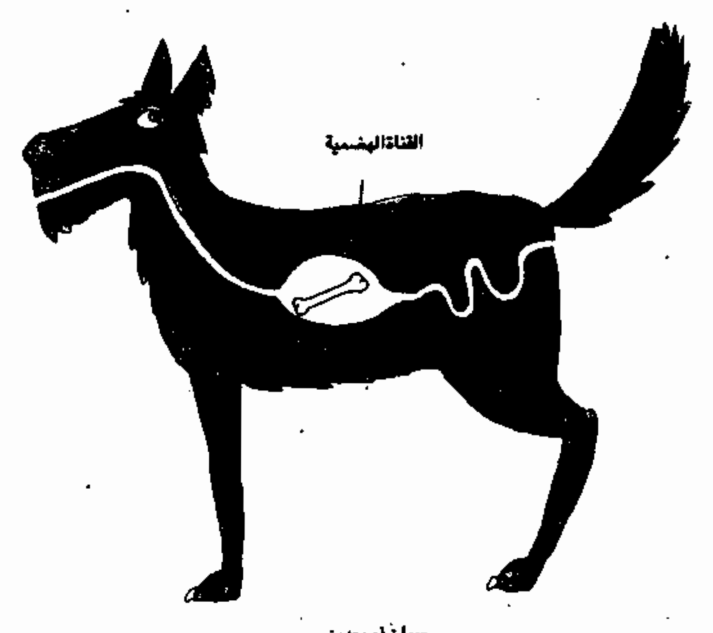
لماذا لا نلحظ كل هذه الأبعاد الإضافية، لو كانت موجودة حقا؟ لماذا لا نرى فعلا إلا ثلاثة أبعاد للمكان وبعدا واحدا للزمان؟ ويُقترح لذلك أن الأبعاد الأخرى هي منحنية لداخل حيز صغير الحجم جدا، شئ من مثل جزء من مليون مليون مليون مليون مليون جزء من البوصة. وهذا يبلغ من صغره أننا لا نلحظه وحسب؛ فنحن لا نرى إلا بعدا واحدا للزمان وثلاثة أبعاد للمكان، يكون المكان – الزمان فيها مسطحا إلى حد ما. والأمر يشبه سطح برتقالة: لو نظرت إليه عن قرب شديد، فإنه



شكل ٧ ، ١٠.

يكون كله في إنحناء وتجعد، ولكن لو نظرت إليه على مسافة، فإنك لن ترى البروزات وسيبدو مستويا. والأمر كذلك مع المكان – الزمان: فعلى المقياس الصغير جدا يكون له عشرة أبعاد ويكون مقوسا جدا، أما على المقاييس الأكبر فلن ترى الإنحناء ولا الأبعاد الإضافية. وإذا كانت هذه الصورة صحيحة، فإنها تنم عن أنباء سيئة لمن سوف يسافرون في الفضاء: فإن الأبعاد الإضافية ستكون من الصغر بما لا يسمح بمرور سفينة فضاء من خلالها. على أنها أيضا تثير مشكلة رئيسية أخرى. فلماذا ينبغي أن بعض الأبعاد، وليست كلها، هي التي تنقص إلى كرة صغيرة؟ ومن الممكن فيما يفترض أن الأبعاد في الكون المبكر جدا كانت كلها منحنية جدا. فلماذا انبسط بعد واحد للزمان وثلاثة أبعاد للمكان، بينما ظلت الأبعاد الأخرى تتقلص معا في إحكام؟

إن إحدى الإجابات المحتملة عن ذلك هي المبدأ الإنساني. وأن يكون للمكان بعدان لا يبدو أن فيه الكفاية لإتاحة تنشئة كائنات معقدة مثلنا. وكمثل، فإن حيوانات من بعدين تعيش على أرض ذات بعد واحد سيكون عليها أن يتسلق أحدها الآخر حتى يتجاوز بعضها البعض. ولو أكل كائن ذو بعدين شيئا، فإنه لن يتمكن من هضمه هضما كاملا، فسيكون عليه أن يخرج الفضلات من نفس الطريق الذي ابتلعها به، لأنه لو كان ثمة مسار من خلال جسده كله، فإنه سيقسم الكائن إلى نصفين



حيوان ذو بعدين

شكل ٨ . ١٠

منفصلين؛ وهكذا فإن كائننا ذا البعدين سيتمزق بددا (شكل ٨ . ١٠). وبالمثل، فإن من الصعب أن نرى كيف يمكن أن تكون هناك أى دورة للدم فى كائن ذى بعدين.

وستكون هناك مشاكل أيضا لو كان هناك أكثر من ثلاثة أبعاد للمكان. فسوف تقل قوة الجاذبية مع بعد المسافة بين جسمين بأسرع مما يحدث مع الأبعاد الثلاثة. (فى الأبعاد الثلاثة تقل قوة الجاذبية للربع عندما تتضاعف المسافة. وفى الأبعاد الأربعة فإنها ستقل للثمن، وفى الأبعاد الخمسة فإنها ستقل إلى ١ على ١٦، وهلم جرا). ومغزى هذا هو أن مدارات الكواكب، مثل الأرض، حول الشمس ستكون غير مستقرة: وأقل قلقلة عن المدار الدائرى (كما قد ينتج عن شد الجاذبية من الكواكب الأخرى) سينجم عنها أن تتحرك الأرض لولبيا بعيدا عن الشمس أو إلى داخلها. وسيصيبنا إما التجمد أو الاحتراق. والحقيقة، أن نفس سلوك الجاذبية مع المسافة فى أكثر من ثلاثة أبعاد يعنى أن الشمس لن تتمكن من أن توجد فى حالة مستقرة مع الضغط الموازن للجاذبية. فهى إما أن تتمزق بددا أو أنها ستتقلص لتشكل ثقبا أسود. وفى كلتى الحالتين، لن يكون لها فائدة كثيرة كمصدر للحرارة والضوء من أجل الحياة على الأرض. وعلى نطاق أصغر، فإن القوى

الكهربائية التى تسبب دوران الالكترونات حول النواة فى الذرة ستسلك على نحو مماثل لقوى الجاذبية. وهكذا فإن الالكترونات إما أن تهرب بالكلية من الذرة أو أنها ستتحرك لولبيا إلى داخل النواة. وفى كلتى الحالتين لا يمكن المرء أن يجد الذرات كما نعرفها.

وإذن، فإنه يبدو واضحا أن الحياة هى، على الأقل كما نعرفها، يمكن أن توجد فقط فى مناطق المكان – الزمان التى يكون فيها البعد الواحد للزمان والأبعاد الثلاثة للمكان غير معقوصة لحجم صغير. وسيعنى هذا أن المرء يمكنه أن يلجأ للمبدأ الإنسانى الضعيف، بشرط أن يتمكن المرء من إظهار أن نظرية الوتر هى على الأقل مما يسمح فعلا بوجود مناطق كهذه من الكون. ويبدو أن نظرية الوتر تفعل ذلك حقا. وقد تكون هناك أيضا مناطق أخرى من الكون، أو أكوان أخرى (أيًا ما كان معنى «ذلك»)، حيث كل الأبعاد معقوصة فى حجم صغير أو حيث تكون ثمة أبعاد أكثر من أبعاد أربعة مسطحة تقريبا، ولكن لن يكون هناك كائنات ذكية فى مناطق كهذه لتلاحظ الأعداد المختلفة من الأبعاد الفعلية.

وبعيدا عن مسألة عدد الأبعاد التى يبدو أن المكان - الزمان يحوزها، فإن نظرية الوتر يظل فيها مشاكل أخرى يجب حلها قبل إمكان المناداة بها كالنظرية النهائية الموحدة للفيزياء. ونحن لا نعرف بعد ما إذا كانت كل اللامتناهيات تلغى إحداها الأخرى فعلا، أو ما هى بالضبط الطريقة التى ننسب بها الموجات التى على الوتر إلى الأنواع المعينة للجسيمات التى نلاحظها. ومع كل، فإن من المحتمل أن سيتم العثور على الإجابات عن هذه الأسئلة خلال السنوات القليلة القادمة، وأنه بنهاية القرن سوف نعرف ما إذا كانت نظرية الوتر هى حقا ما طال البحث عنه من نظرية موحدة للفيزياء.

ولكن هل يمكن حقا أن توجد مثل هذه النظرية الموحدة؟ أو لعلنا فحسب نطارد سرابا؟ يبدو أن هناك احتمالات ثلاثة:

١) أن هناك حقا نظرية موحدة كاملة، سوف نكتشفها يوما ما لو كنا على قدر كاف من الحذق.

٢) أنه لا توجد نظرية نهائية للكون، وإنما فقط تتال لا متناه من النظريات التى توصف الكون بدقة أكبر وأكبر.

٣) ليس هناك نظرية للكون؛ والأحداث لا يمكن التنبؤ بها بما يتجاوز مدى معين وإنما هى تحدث بطريقة عشوائية وتعسفية.

ومع تقدم ميكانيكا الكم، فقد وصلنا إلى تبين أن الأحداث هى مما لا يمكن التنبؤ به بدقة كاملة، وإنما هناك دائما درجة من عدم اليقين. وفى الأزمنة الحديثة، تم لنا بصورة فعالة إزالة الاحتمال الثالث أعلاه، وذلك بإعادة تحديد هدف العلم: فهدفنا هو أن نصوغ مجموعة من القوانين تمكننا من التنبؤ بالأحداث وذلك فقط فى نطاق الحد الذى يفرضه مبدأ عدم اليقين.

والاحتمال الثانى، من أن هناك تتاليا لا متناه من نظريات تُنقح أكثر وأكثر، يتفق مع كل خبرتنا حتى الآن. فنحن فى مناسبات كثيرة قد زدنا من حساسية قياساتنا أو قمنا بعمل نوع جديد من المشاهدات، لنكتشف ما هو إلا ظواهر جديدة لم تكن مما تتنبأ به النظرية الموجودة، وحتى نفسر تلك الظواهر يكون علينا أن ننشئ نظرية أكثر تقدما. وإذن فلن يكون ما يدهش كثيرا أن يكون الجيل الحالى من النظريات الموحدة الكبرى على خطأ فى إدعاء أنه لن يحدث شئ جديد جوهرى ما بين الطاقة الموحدة الضعيفة كهربيا التى تبلغ ما يقرب من ١٠٠ جى فى، والطاقة الموحدة الكبرى التى تبلغ ما يقرب من ألف مليون مليون جى فى. ويمكننا فى الحقيقة أن نتوقع أننا سوف نجد طبقات عديدة جديدة من البنية تكون أساسية بأكثر من الكواركات والالكترونات التى نعتبرها الان الجسيمات «الأولية».

على أنه يبدو أن الجاذبية قد تمد بحد لهذا التتالى من «صناديق داخل الصناديق». فلو كان عند المرء جسيم له طاقة أعلى مما يسمى طاقة بلانك، أى عشرة مليون مليون مليون جى فى (واحد يتبعه تسعة عشر صفرا)، فإن كتلته ستكون من التركيز بحيث أنه سيفصل نفسه عن سائر الكون ويشكل ثقبا أسود صغيرا. وهكذا فإنه يبدو فعلا أن تتالى النظريات المنقحة أكثر وأكثر لا بد وأن له حداً ما إذ نذهب إلى الطاقات الأعلى والأعلى، بحيث أنه لا بد من وجود نظرية ما نهائية عن الكون، وبالطبع، فإن طاقة بلانك بعيدة جدا عن الطاقات التى تبلغ حوالى مائة جى فى، وهى أقصى ما يمكننا إنتاجه فى المعمل فى الوقت الحالى. ومعجلات الجسيمات لن تعبر بنا هذه الثغرة فى المستقبل المنظور! على أن المراحل المبكرة جدا للكون، هى النطاق الذى لا بد أن قد وقعت فيه طاقات كهذه. واعتقد أن ثمة فرصة جيدة لأن تؤدى بنا دراسة الكون المبكر ومتطلبات التماسك الرياضى إلى نظرية موحدة كاملة خلال حياة بعض منا ممن يعيشون حاليا، مع افتراضنا دائما أننا أولا لن نفجر أنفسنا.

ماذا يعنى الأمر لو أننا اكتشفنا فعلا النظرية النهائية للكون؟ كما شرحنا فى الفصل الأول، لن يكون فى إمكاننا قط التأكد من أننا قد عثرنا حقا على النظرية الصحيحة، لأن النظريات لا يمكن البرهنة عليها. ولكن إذا كانت النظرية متماسكة رياضيا وتعطى دائما تنبؤات تتفق مع المشاهدات، فإننا يمكننا أن نثق إلى حد معقول فى أنها النظرية الصحيحة. وهى بذلك سوف تنهى

فصلا طويلا مجيدا فى تاريخ نضال البشرية الفكرى لفهم الكون. ولكنها أيضا سوف تثور فهم الشخص العادى للقوانين التى تحكم الكون. وفى زمن نيوتن كان من الممكن لشخص متعلم أن يصل إلى استيعاب كل المعرفة البشرية، على الأقل من حيث الخطوط الخارجية. أما فيما بعد ذاك فإن سرعة نمو العلم قد جعلت من هذا أمرا مستحيلا. ولما كانت النظريات تُغيَّر دائما لتفسير المشاهدات الجديدة، فإنها لا تُهضم أو تبسط قط على النحو الصحيح بحيث يستطيع الناس العاديون فهمها. فينبغى أن تكون متخصصا، وحتى عندها، فلن تستطيع أن تأمل فى أن تستوعب استيعابا صحيحا إلا نسبة صغيرة من النظريات العلمية. وفوق ذلك، فإن معدل التقدم يبلغ من سرعته أن ما يتعلمه المرء فى المدرسة أو الجامعة يكون دائما قد ولى زمنه بعض الشئ. ولا يستطيع إلا قلة من الناس أن يلاحقوا جبهة المعرفة التى تتقدم سريعا، ويكون عليهم أن يكرسوا كل وقتهم لها وأن يتخصصوا فى مجال ضيق. وسائر الناس ليس لديهم إلا فكرة صغيرة عن أوجه التقدم التى تُصنع أو الإثارة التى تولدها. ومنذ سبعين عاما، إذا كان من الممكن تصديق ادنجتون، لم يكن يفهم نظرية النسبية العامة إلا فردان. وفى أيامنا هذه فإن عشرات الآلاف من خريجى الجامعة يفهمونها، وثمة ملايين كثيرة من الناس هم على الأقل على دراية بالفكرة. ولو تم اكتشاف نظرية موحدة كاملة، فسيكون الأمر مسألة وقت فقط حتى يتم هضمها وتبسيطها بنفس الطريقة لتُعلم فى المدارس، على الأقل بخطوطها الخارجية. وسوف نتمكن جميعا وقتها من أن يكون لنا بعض فهم للقوانين التى تحكم الكون والتى هى مسئولة عن وجودنا.

وحتى لو اكتشفنا نظرية موحدة كاملة، فإن ذلك لن يعنى أننا سوف نستطيع التنبؤ بالأحداث عامة، وذلك لسببين: الأول، هو القيد الذى يفرضه مبدأ عدم اليقين فى ميكانيكا الكم على قدرتنا على التنبؤ. وما من شئ يمكننا فعله لتفادى ذلك. على أنه عند التطبيق، يكون هذا القيد الأول أقل تقييداً من القيد الثانى. والثانى ينشأ عن حقيقة أننا لا نستطيع حل معادلات النظرية على نحو مضبوط، إلا فى المواقف البسيطة جدا. (إننا لا نستطيع حتى أن نحل حلا مضبوطا حركة ثلاثة أجسام فى نظرية نيوتن للجاذبية، وتتزايد الصعوبة مع تزايد عدد الأجسام وتركُّب النظرية). ونحن نعرف بالفعل القوانين التى تحكم سلوك المادة تحت كل الظروف إلا أقصاها تطرفا. ونحن نعرف بالذات القوانين الأساسية التى فى الأساس من كل الكيمياء والبيولوجيا. على أننا لم نختزل هذين الموضوعين إلى حال من مشاكل محلولة؛ وحتى الآن فإننا لم نصب إلا نجاحا قليلا فى التنبؤ بالسلوك الإنسانى من معادلات رياضية!

وإذن فحتى لو وجدنا بالفعل مجموعة كاملة من القوانين الأساسية، فسوف تظل باقية أمامنا فى السنوات القادمة مهمة تتحدى الذكاء وهى إنشاء مناهج أفضل للتقريب، بحيث نستطيع

تقديم تنبؤات مفيدة عن النتائج المحتملة فى المواقف المعقدة والواقعية. فالنظرية الموحدة المتماسكة الكاملة ليست إلا الخطوة الأولى: فهدفنا هو «الفهم» الكامل للأحداث من حولنا، وفهم وجودنا نفسه.



١١

ختــام

إننا نجد أنفسنا فى عالم محيِّر. ونحن نريد أن نجعل مما نراه حولنا شيئا معقولا ونسأل: ما هى طبيعة الكون؟ ما هو مكاننا فيه ومن أين أتى هو وإيانا؟ لماذا يكون كما هو عليه ؟

وحتى نحاول الإجابة عن هذه الأسئلة فإننا نتخذ «صورة ما للعالم». وكما أن برجا لامتناهيا من السلاحف التى تسند الأرض المسطحة هو إحدى صور العالم هذه، فإن نظرية الأوتار الفائقة هي مثل ذلك تماما. فكلاهما نظرية عن الكون، وإن كانت الأخيرة رياضية ودقيقة بدرجة أكبر كثيرا من الأولى. وكلتا النظريتين ينقصهما دليل من المشاهدة: فلم ير أحد قط سلحفاة ضخمة والأرض على ظهرها، ومع ذلك فإن أحدا لم ير أيضا وترا فائقا. على أن نظرية السلحفاة تفشل فى أن تكون نظرية علمية جيدة لأنها تتنبأ بأن الناس ينبغى لهم أن يقعوا من على حرف العالم. وهذا أمر لم يجد أحد أنه يتفق مع الخبرة، إلا إذا ثبت فى النهاية أن هذا تفسير أمر الأفراد الذين يفترض أنهم قد اختفوا فى مثلث برمودا!

وأقدم المحاولات النظرية لتوصيف وتفسير الكون كانت تتضمن فكرة أن الأحداث هى والظواهر الطبيعية تحكمها أرواح ذات عواطف بشرية تتصرف على نحو مشابه جدا للبشر، ولا يمكن التنبؤ به. وكانت هذه الأرواح تسكن فى الأشياء الطبيعية، مثل الأنهار والجبال، بما فى ذلك الأجرام السماوية مثل الشمس والقمر. وكان ينبغي استرضاؤها واستجلاب عطفها لضمان خصوبة التربة ودوران الفصول. على أنه تدريجيا، تمتّ - بالضرورة - ملاحظة أن ثمة أوجه انتظام معينة: فالشمس دائما تبزغ من الشرق وتأفل فى الغرب، سواء قدمت الضحية لإله الشمس أم لم تقدم. وفوق ذلك، فإن الشمس والقمر والكواكب تتبع مسارات محددة عبر السماء يمكن التنبؤ بها مقدما بدقة لها اعتبارها. وربما ظلت الشمس والقمر كآلهة، ولكنها آلهة تخضع لقوانين صارمة، من الواضح أنها ليس لها أى استثناءات، إذا أسقط المرء من حسابه الحكايات من مثل الشمس التى توقفت ليوشع.

وفي أول الأمر، اتضحت أوجه الانتظام والقوانين هذه في علم الفلك وحده وفي مواقف أخرى معدودة. على أنه مع نمو الحضارة، وبالذات في الأعوام الثلاثمائة الأخيرة، تم اكتشاف المزيد والمزيد من القوانين وأوجه الانتظام. وأدى نجاح هذه القوانين إلى أن يفترض لابلاس في أول القرن التاسع عشر الحتمية العلمية، أي أنه اقترح أن ثمة مجموعة من القوانين تحدد تطور الكون بدقة، إذ أعطي شكله في وقت معين.

وحتمية لابلاس كانت منقوصة من وجهين. فهي لم تبين لنا كيف ينبغي اختيار القوانين، ولم تحدد الشكل الابتدائي للكون.

ونحن نعرف الآن أن آمال لابلاس في الحتمية لا يمكن تحقيقها، على الأقل بالشروط التي كانت في ذهنه. فمبدأ عدم اليقين لميكانيكا الكم يدل على أن ثنائيات معينة من الكميات، مثل موضع وسرعة الجسم، لا يمكن التنبؤ بها معا بدقة كاملة.

وميكانيكا الكم تتناول هذا الموقف عن طريق نوع من نظريات الكم؛ حيث الجسيمات فيها لا يكون لها أوضاع وسرعات محددة بدقة وإنما هي تُمثَّل بموجة. ونظريات الكم هذه حتمية بمعنى أنها تعطي قوانين تطور الموجة بمرور الوقت. وهكذا إذا عرف المرء الموجة عند زمن بعينه، فإنه يستطيع أن يحسبها عند أي زمن آخر. والعنصر العشوائي الذي لا يقبل التنبؤ يتدخل فقط عندما نحاول تفسير الموجة بحدود من مواضع وسرعات الجسيمات. ولكن لعل هذا هو خطأنا: فربما لا يكون ثمة مواضع ولا سرعات للجسيمات، وإنما هناك موجات فقط. والأمر وحسب أننا نحاول أن نلائم الموجات مع أفكارنا المسبقة عن المواضع والسرعات. وعدم التوافق الناجم هو سبب ما يظهر من عدم إمكان التنبؤ.

والواقع، أننا قد أعدنا تحديد مهمة العلم لتصبح اكتشاف القوانين التي تمكننا من التنبؤ بالأحداث في الحدود التي يفرضها مبدأ عدم اليقين. على أن السؤال يظل باقيا: كيف أو لماذا تم اختيار قوانين الكون وحالته الابتدائية؟

وقد أعطيت في هذا الكتاب اهتماما خاصا بالقوانين التي تحكم الجاذبية، لأن الجاذبية هي التي تشكل بنية الكون بالمقياس الكبير، حتى وإن كانت أضعف صنوف القوى. وقوانين الجاذبية كانت لا تتوافق والنظرة المستمسك بها حتى فترة قريبة جدا من أن الكون لا يتغير من حيث الزمان: وحقيقة أن الجاذبية تجذب دائما تدل على أن الكون ولا بد إما أنه يتمدد أو أنه ينكمش. وحسب نظرية النسبية العامة، لا بد وأنه كان هناك في الماضي حالة من كثافة لامتناهية، الانفجار الكبير، الذي يكون بداية فعالة للزمان. وبالمثل، فلو أن الكون كله تقلص ثانية، فإنه لا بد من أن توجد في

المستقبل حالة أخرى من كثافة لامتناهية، الانسحاق الكبير، الذى يكون نهاية الزمان. وحتى لو لم يحدث أن يتقلص الكون ثانية، فسيكون ثمة مفردات فى مناطق محلية تتقلص لتكوّن ثقوبا سوداء، وهذه المفردات تكون نهاية الزمان لأى ممن يقع فى الثقب الأسود. وكل القوانين تنهار عند الانفجار الكبيرْ والمفردات الأخرى.

وعندما نجمع بين ميكانيكا الكم والنسبية العامة يبدو لنا احتمال جديد لم ينشأ من قبل: أن المكان والزمان معا قد يشكلان مكانا متناهيا ذا أربعة أبعاد، ليس له مفردات ولا حدود، فهو مثل سطح الأرض إلا أن له أبعادا أكثر. ويبدو أن هذه الفكرة يمكن أن تفسر الكثير من الملامح الملاحظة فى الكون، مثل الاتساق على المقياس الكبير، وأيضا ما يحدث على المقياس الأصغر من أوجه ابتعاد عن التجانس، كالمجرات مثلا أو النجوم، بل والكائنات البشرية. بل إنها أيضا يمكن أن تفسر سهم الزمان الذى نلاحظه.

وقد لا يكون هناك إلا نظرية واحدة، أو عدد قليل من النظريات الموحدة الكاملة مثل نظرية الوتر المتنامى، وهى نظريات متماسكة بذاتها وتتيح وجود بنيات معقدة من مثل الكائنات البشرية التى تستطيع أن تبحث قوانين الكون وتسأل عن طبيعته.

وحتى لو لم يكن من المحتمل إلا نظرية موحدة واحدة، فإنها مجرد مجموعة من القواعد والمعادلات. ما الذى ينفث النيران داخل المعادلات ويجعل لها كونا توصّفه؟ إن التناول العلمى المعتاد، عن طريق بناء نموذج رياضى، لا يستطيع الإجابة عن الأسئلة عن السبب فى أنه ينبغى أن يوجد كون يوصفه النموذج. ما الذى يجعل الكون يكابد مشقة وجوده؟

وحتى الآن فإن معظم العلماء كانوا مشغولين جدا بإنشاء نظريات جديدة توصف «ما هو الكون» بحيث لم يسألوا عن «لماذا». وعلى الجانب الاخر، فإن الأفراد الذين كانت مهمتهم أن يسألوا «لماذا»، أى الفلاسفة، لم يتمكنوا من ملاحقة تقدم النظريات العلمية. وفى القرن الثامن عشر، كان الفلاسفة يعتبرون أن كل المعرفة البشرية، بما فيها العلم، هى مجالهم فناقشوا أسئلة من مثل: هل كان للكون بداية؟ على أن العلم فى القرنين التاسع عشر والعشرين أصبح على درجة بالغة من غلو التقنية والرياضة بالنسبة للفلاسفة، أو لأى فرد أخر فيما عدا قلة من المتخصصين. واختزل الفلاسفة مجال أبحاثهم إلى حد أن قال ويتجنشتين، أشهر فيلسوف فى هذا القرن: «المهمة الوحيدة التى بقيت للفلسفة هى تحليل اللغة». ياالانحدار الحال عن التراث العظيم للفلسفة من أرسطو حتى كانت!

وعلى كل، فلو اكتشفنا فعلا نظرية كاملة، فإنه ينبغى بمرور الوقت أن تكون قابلة لأن

يفهمها كل فرد بالمعنى الواسع، وليس فقط مجرد علماء معدودين. وعندها فإننا كلنا، فلاسفة وعلماء وأناساً عاديين وحسب، سنتمكن من المساهمة في مناقشة السؤال عن السبب في وجودنا نحن والكون. ولو وجدنا الإجابة عن ذلك، فسيكون في ذلك الانتصار النهائي للعقل البشري – لأننا وقتها سنعرف الفكر الخلاق.



البرت اينشتين

من الأمور المعروفة أن إينشتين كان على صلة بسياسيات القنبلة الذرية: فهو قد وقع الخطاب المشهور إلى الرئيس فرانكلين روزفلت والذى يحث الولايات المتحدة على تناول الفكرة تناولا جديا، كما أنه اشترك فى جهود ما بعد الحرب لمنع الحرب الذرية. على أن هذه لم تكن مجرد تصرفات معزولة لعالم قد جُرَّ إلى عالم السياسة. فالحقيقة أن حياة إينشتين، باستخدام كلماته هو نفسه، كانت «مقسمة بين السياسة والمعادلات».

وأول نشاطات إينشتين السياسية كانت أثناء الحرب العالمية الأولى، عندما كان أستاذا فى برلين. وإذ أصابه السقم مما رآه من إهدار لحياة البشر، فإنه اشترك فى المظاهرات ضد الحرب. وكان من اتِّباعه للعصيان المدنى، وتشجيعه العلنى لأن يرفض الناس الالتحاق بالجيش ما جعله غير محبوب من زملائه. ثم إنه وجه جهوده بعد الحرب إلى توفيق وتحسين العلاقات الدولية. وهذا أيضا لم يجعله محبيا، وسرعان ما جعلت نشاطاته السياسية من زيارته للولايات المتحدة أمر صعبا، حتى ولو لإلقاء المحاضرات.

والقضية الكبرى الثانية لإينشتين كانت الصهيونية. ورغم أنه كان ينحدر من أصول يهودية، إلا أنه كان يرفض الفكرة التوراتية عن الله. على أن تزايد الانتباه إلى معاداة السامية قبل وأثناء الحرب العالمية الأولى معا، أدى به تدريجيا إلى الاندماج مع المجتمع اليهودى، وإلى أن يصبح فيما بعد مناصرا صريحا للصهيونية. ومرة أخرى فإن فقدان الشعبية لم يمنعه من المجاهرة برأيه. وأصبحت نظرياته موضعا للهجوم؛ بل لقد أنشئ تنظيم لمعاداة إينشتين. وأدين أحد الرجال بتحريض آخرين على قتل إينشتين (وغُرم ستة دولارات فحسب). على أن إينشتين ظل رابط الجأش. وعندما نُشر كتاب عنوانه «مائة مؤلف ضد إينشتين»، كان رده الحاسم هو، «لو أننى كنت على خطأ، لكان فى مؤلف واحد الكفاية!».

وفى ١٩٣٣ استحوذ هتلر على السلطة. وكان إينشتين فى أمريكا، فأعلن أنه لن يعود لألمانيا. وبينما كانت الميليشيا النازية بعدها تغير على منزله وتجمد حسابه فى البنك، نشرت إحدى صحف برلين عنوانا رئيسيا يقول، «أنباء طيبة من إينشتين - إنه لن يعود». وفى مواجهة تهديد النازى، نبذ إينشتين المبادئ السلمية، وإذ خشى أن يبنى العلماء الألمان القنبلة الذرية فإنه فى النهاية اقترح أنه ينبغى أن تصنع الولايات المتحدة قنبلتها. ولكنه حتى قبل تفجير أول قنبلة ذرية، أخذ يحذر علنا من مخاطر الحرب الذرية مقترحا سيطرة دولية على السلاح الذرى.

ولعل جهود إينشتين للسلام أثناء حياته، لم تنجز إلا قليلا مما سيُكتب له البقاء - ومن المؤكد أنها لم تكسب له إلا القليل من الأصدقاء. على أن دعمه الصريح للقضية الصهيونية قد أُقر به فى ١٩٥٢ على النحو اللائق، إذ عرضت عليه رئاسة إسرائيل. ورفض المنصب، وهو يقول إنه يعتقد أنه فى السياسة ساذج أكثر مما ينبغى. ولعل السبب الحقيقى فى رفضه كان مختلفا: وبالاستشهاد به ثانية فإن، «المعادلات أكثر أهمية بالنسبة لى، لأن السياسة تختص بالوقت الحالى، أما المعادلة فشئ يختص بالخلود».



جاليليو جاليلى

لعل جاليليو، أكثر من أى شخص آخر بمفرده، هو المسئول عن ميلاد العلم الحديث. وخلافه المشهور مع الكنيسة الكاثوليكية كان أمرا محوريا بالنسبة لفلسفته، ذلك أن جاليليو كان من أول من حاجّوا بأن الإنسان فى وسعه أن يأمل فهما لطريقة عمل العالم، وفوق ذلك فإننا نستطيع القيام بذلك بملاحظة العالم الواقعى.

وقد آمن جاليليو بنظرية كوبرنيكوس (بأن الكواكب تدور حول الشمس) منذ زمن مبكر، ولكنه لم يبدأ فى مناصرتها علنا إلا عندما وجد الدليل اللازم لدعم الفكرة. وقد كتب عن نظرية كوبرنيكوس بالإيطالية (وليس باللاتينية الأكاديمية المعتادة)، وسرعان ما انتشر التأييد لأفكاره خارج الجامعات. وقد أزعج هذا الأساتذة الأرسطيين، فاتحدوا ضده وهم يلتمسون حض الكنيسة الكاثوليكية على حظر النظرية الكوبرنيكية.

وإذا أثار هذا قلق جاليليو، فإنه سافر إلى روما ليتحدث إلى السلطات الاكليركية. واحتج بأن الإنجيل لم يُقصد به أن يخبرنا بأى شئ عن النظريات العلمية، وأنه من المعتاد – عندما يختلف الإنجيل مع الحس المشترك – افتراض أن تعبير الإنجيل مجازى. على أن الكنيسة كانت تخشى وقوع فضيحة تقوض من حربها ضد البروتستانتية، وهكذا فإنها اتخذت إجراءات قمعية. وأعلنت فى عام ١٦١٦ أن الكوبرنيكية «زائفة وخاطئة»، وأمرت جاليليو بألا يعود قط إلى «الدفاع عن المذهب أو المناداة به». وأذعن جاليليو.

وفى ١٦٢٣ أصبح أحد أصدقاء جاليليو لزمن طويل هو البابا. وعلى الفور حاول جاليليو إلغاء مرسوم ١٦١٦. وقد فشل فى ذلك، إلا أنه تمكن بالفعل من الحصول على تصريح بوضع كتاب يناقش كلتى النظريتين الأرسطية والكوبرنيكية، وذلك بشرطين: ألا ينحاز لأى جانب، وأن يصل إلى استنتاج أن الإنسان لا يستطيع بأى حال أن يحدد كيف يعمل العالم لأن الله يستطيع أن يأتى

بنفس النتائج بطرق لا يتخيلها الإنسان، الذى لا يستطيع أن يضع قيودا على القدرة الإلهية.

وهذا الكتاب، «حوار بشأن النظامين الأساسيين للعالم» قد اكتمل ونشر فى ١٦٣٢، بدعم كامل من الرقباء - وقد رُحب به فى التو فى أوروبا كلها كمؤلَّف فذ فى الأدب والفلسفة. وسرعان ما تبين البابا أن الناس يلتمسون الكتاب كمحاجة مقنعة فى صف الكوبرنيكية، فندم على السماح بنشره. واحتج البابا بأنه رغم أن الكتاب قد حاز موافقة الرقباء رسميا، إلا أن جاليليو قد انتهك مرسوم ١٦١٦. وأتى بجاليليو أمام محكمة التفتيش، التى حكمت عليه بتحديد إقامته فى منزله طيلة حياته وأمرته بأن ينكر علانية النظرية الكوبرنيكية. وللمرة الثانية أذعن جاليليو.

وقد ظل جاليليو كاثوليكيا مخلصا، ولكن إيمانه باستقلال العلم لم يمحق. وقبل أن يموت بأربعة أعوام فى ١٦٤٢، وهو ما زال رهن الاعتقال بالمنزل، هُربت مخطوطة كتابه الرئيسى الثانى إلى ناشر فى هولندا. وهذا المؤلف الذى يشار إليه باسم «علمان جديدان» كان منشأ الفيزياء الحديثة، بما هو أكثر حتى من تأييده لكوبرنيكوس.



إسحق نيوتن

لم يكن إسحق نيوتن بالشخص اللطيف، وعلاقاته مع الأكاديميين الآخرين مشهور أمرها، وكانت معظم سنى حياته الأخيرة مشوشة بانفاقها فى خلافات مشتعلة. وعقب نشر كتابه «مبادئ الرياضة» – وهو بالتأكيد أكثر الكتب على الإطلاق تأثيرا فيما كتب فى الفيزياء – زاد سريعا ماله من شهرة عامة. وعين رئيسا للجمعية الملكية وأصبح أول عالم على الإطلاق يُرسم فارسا.

وسرعان ما اصطدم نيوتن مع جون فلامستد عالم الفلك بالمرصد الملكى، الذى سبق أن أمد نيوتن بالكثير من المعطيات اللازمة لكتاب «المبادئ»، ولكنه بعدها أخذ يحجب المعلومات التى يريدها نيوتن. ولم يكن نيوتن بالذى يقبل الرد بالنفى؛ فسعى حتى عين فى الهيئة التى تدير المرصد الملكى ثم حاول فرض نشر المعطيات فورا. ورتب فى النهاية عملية الاستحواذ على عمل فلامستد وإعداده للنشر على يد عدوه اللدود إدموند هالى. على أن فلامستد ذهب بقضيته إلى المحكمة، وفى اللحظة الحاسمة، نال أمرا قضائيا يحظر نشر عمله المسروق. وثار سخط نيوتن، وسعى للانتقام بأن محا باطراد كل إشارة لفلامستد فى الطبعات اللاحقة من «المبادئ».

ونشأ نزاع أكثر خطورة مع الفيلسوف الألمانى جوتفريد ليبنتز. وكان كل من نيوتن وليبنتز قد أنشأ على حدة فرعا من الرياضيات يسمى التفاضل والتكامل هو فى الأساس من معظم الفيزياء الحديثة. ورغم أننا نعرف الآن أن نيوتن قد اكتشف حساب التفاضل قبل ليبنتز بسنوات، إلا أنه نشر مؤلفه بعدها بكثير. ونشأ شجار كبير عمن يكون الرائد، بينما دافع العلماء دفاعا عنيفا عن كل من الطرفين المتنافسين. على أن من الجدير بالملاحظة، أن معظم المقالات التى ظهرت دفاعا عن نيوتن كتبت أصلا بيده هو نفسه – ونشرت فحسب باسم أصدقائه! ومع تنامى الشجار، ارتكب ليبنتز غلطة الالتجاء إلى الجمعية الملكية لحل النزاع. وعيّن نيوتن، بصفته رئيسا، لجنة «محايدة» للاستقصاء، صادف أن تكونت بالكلية من أصدقاء نيوتن! ولم يكن هذا كل شئ –

فقد كتب نيوتن هو نفسه بعدها تقرير اللجنة، وجعل الجمعية الملكية تنشره، متهما ليبنتز رسميا بالانتحال. ولم يكفه هذا ، فقام بكتابة استعراض للتقرير دون توقيع، فى دورية الجمعية الملكية ذاتها . وبعد موت ليبنتز، سُجل عن نيوتن إعلانه ارتياحه التام من أنه «قد سحق قلب ليبنتز».

وأثناء الفترة التى انقضت فى هذين النزاعين، كان نيوتن قد ترك بالفعل كمبردج والأكاديمية. وكان لنيوتن نشاطه فى السياسة ضد الكاثوليكية فى كمبردج، وفيما بعد فى البرلمان، وكوفئ فى النهاية بمنصب مجزٍ هو محافظ دار السك الملكية. وقد استخدم هنا مواهبه فى المراوغة والنقد اللاذع على نحو أكثر قبولا اجتماعيا، فقاد بنجاح حملة كبرى ضد التزييف، بل وأرسل العديد من الرجال إلى حتفهم على المشانق.

معجم

absolute zero:

الصفر المطلق : أقل درجة حرارة ممكنة، حيث المادة لا تحوى طاقة حرارية.

acceleration:

عجلة السرعة : المعدل الذى تتغير به سرعة الشئ.

anthropic principle:

المبدأ الإنساني: نحن نرى الكون بما هو عليه لأنه لو كان مختلفا، لما كنا هنا لنرقبه.

antiparitcle:

مضاد الجسيم: كل نوع من جسيمات المادة له مضاد جسيم مناظر له. وعندما يصطدم جسيم بمضَاده، فإنهما يفنيان، ولا يتخلف إلا الطاقة.

atom:

الذرة : الوحدة الأساسية للمادة العادية، وتتكون من نواة دقيقة (تتألف من البروتونات والنيوترونات) محاطة بالكترونات تدور من حولها .

big bang

الانفجار الكبير: المفردة التى عند بدء الكون.

big crunch:

الانسحاق الكبير: المفردة التى عند نهاية الكون.

blacK hole :

الثقب الأسود: منطقة فى المكان - الزمان لا يستطيع أى شئ أن يهرب منها، ولا حتى الضوء، لأن الجاذبية عندها قوية جدا.

Chandrasekhar limit:

حد شاندراسيخار : أقصى كتلة ممكنة لنجم بارد مستقر، وإذا زادت عن ذلك فإن النجم يجب أن يتقلص إلى ثقب أسود.

conservation of energy:

حفظ الطاقة : القانون العلمى الذى يقرر أن الطاقة (أو ما يكافئها من كتلة) لا يمكن أن تُستحدث أو تُفنى.

coordinates :

الإحداثيات : الأرقام التى تعيّن موضع نقطة فى المكان والزمان.

cosmological constant :

الثابت الكونى : حيلة رياضية استخدمها إينشتين ليضفي على المكان - الزمان نزعة جبلية للتمدد.

cosmolgy :

علم الكونيات : دراسة الكون ككل.

electric charge :

الشحنة الكهربائية : خاصة للجسيم يمكن له بواسطتها أن يتنافر (أو يتجاذب) مع الجسيمات الأخرى التى لها شحنة بعلامة مماثلة (أو مضادة).

electromagnetic force :

القوة الكهرومغنطية : القوة التى تنشأ بين الجسيمات ذات الشحنة الكهربائية، وهى ثانى أقوى قوة من القوى الأساسية الأربع.

electron :

الالكترون : جسيم له شحنة كهربائية سالبة ويدور حول نواة الذرة.

electroweak unification energy :

الطاقة الموحدة ضعيفة الكهربية: طاقة (من حوالى ١٠٠ جى فى) لو تم تجاوزها يختفى التمييز بين القوة الكهرومغنطية والقوة الضعيفة.

elementary particle :

جسيم أولى : جسيم يعتقد أنه لا يمكن انقسامه لما هو أصغر.

event :

حدث : نقطة فى المكان – الزمان تتعين بزمانها ومكانها.

event horizon :

أفق الحدث : حد الثقب الأسود.

exclusion perinciple :

مبدأ الاستبعاد : لا يمكن لجسيمين متماثلين من لف نصف أن يكون لهما معا (فى الحدود التى يفرضها مبدأ عدم اليقين) نفس الموضع ونفس السرعة.

field

مجال : شئ يوجد خلال كل المكان والزمان، وذلك فى مقابلة مع الجسيم الذى لا يوجد إلا عند نقطة واحدة فى الوقت الواحد.

frequency :

تردد : بالنسبة لموجة، عدد الدورات الكاملة فى كل ثانية.

gamma ray

إشعاع جاما : موجات كهرومغنطية طولها قصير جداً، تنتج عن التحلل الإشعاعي أو عن اصطدامات بين الجسيمات الأولية.

general relativity :

النسبية العامة : نظرية إينشتين المؤسسة على فكرة أن قوانين العلم ينبغي أن تكون متماثلة بالنسبة لكل القائمين بالملاحظة، بصرف النظر عن كيفية تحركهم. وهي تفسر قوة الجاذبية بحدوده من انحناء المكان – الزمان ذي الأبعاد الأربعة.

geodesic :

جيوديسي : أقصر (أو أطول) مسار بين نقطتين.

grand unification energy :

الطاقة الموحدة الكبرى: الطاقة التي يعتقد أنه عند تجاوزها تصبح القوة الكهرومغنطية، والقوة الضعيفة، والقوة القوية مما لا يمكن تمييزها إحداها عن الأخرى.

grand unified theory (GUT)

النظرية الموحدة الكبرى: نظرية توحد القوى الكهرومغنطية، والقوية، والضعيفة.

imaginary time :

الزمان التخيلي : زمان يقاس باستخدام الأرقام التخيلية.

light cone :

مخروط الضوء : سطح في المكان – الزمان يحدد الاتجاهات المحتملة لأشعة الضوء التي تمر من خلال حدث معين.

light-second (light - year) :

ثانية ضوئية (سنة ضوئية): المسافة التي يتحركها الضوء في ثانية (سنة) واحدة.

magnetic field :

المجال المغناطيسي: المجال المسئول عن القوى المغناطيسية، والذي يُدمج الآن هو والمجال

الكهربائى، فى المجال الكهرومغنطى.

mass :

الكتلة : كمية المادة فى جسم ما؛ أو قصوره الذاتى، أو مقاومته لعجلة السرعة.

microwave background radiation :

إشعاع الخلفية الميكروويفية: إشعاع من توهج الكون المبكر الساخن، ينزاح الآن إزاحة حمراء كبيرة، بحيث يبدو لا كضوء، وإنما كموجات ميكروويف (موجات راديو طول الموجة منها سنتيمترات معدودة).

naked singularity :

مفردة عارية : مفردة المكان – الزمان التى لا يحيط بها ثقب أسود.

neutrino :

نيوترينو : جسيم أولى للمادة خفيف للغاية (بلا كتلة فيما يحتمل) لا يتأثر إلا بالقوة الضعيفة والجاذبية.

neutron :

نيوترون : جسيم بلا شحنة، مشابه جدا للبروتون، ومسئول عما يقارب نصف جسيمات النواة فى أغلب الذرات.

neutron star :

نجم النيوترون : نجم بارد، يقوم على التنافر بين النيوترونات حسب مبدأ الاستبعاد.

no bounday condition :

شرط اللاحدية : فكرة أن الكون متناهٍ ولكنه بلا حد (فى الزمان التخيلى).

nuclear fusion :

الاندماج النووى: العملية التى تصطدم فيها نواتان وتلتحمان لتكونا نواة واحدة أثقل.

nucleus :

النواة: الجزء المركزى للذرة، ويتكون فقط من البروتونات والنيوترونات، التى تتماسك معا بالقوة القوية.

particle accelerator :

معجل الجسيمات : ماكينة تستطيع باستخدام المغناطيسات الكهربائية أن تعجل الجسيمات المشحونة المتحركة، معطية إياها طاقة أكثر.

phase :

طور : بالنسبة للموجة، هو وضع في دورتها عند وقت معين: مقياس يقيس ما إذا كانت عند الذروة، أو القرار، أو عند نقطة ما فيما بينهما.

photon :

فوتون : كم ضوء.

planck's quantum principle:

مبدأ الكم لبلانك: فكرة أن الضوء (أو أي موجات أخرى كلاسيكية) لا يمكن أن يبُعث أو يُمتص إلا في كمات منفصلة، تكون طاقتها متناسبة مع ذبذبتها.

positron :

بوزيترون : مضاد الجسيم للإلكترون (موجب الشحنة).

primordial black hole :

ثقب أسود بدائي : ثقب أسود يتم استحداثه في الكون المبكر جدا.

proportional :

متناسب : «س تتناسب مع ص» يعني أنه عندما تُضرب ص في أي رقم، فإن س تضرب أيضا كذلك. «س تتناسب عكسيا مع ص» يعني أنه عندما تضرب ص في رقم، تقسم س على هذا الرقم.

proton :

بروتون : جسيمات ذات شحنة موجبة تكون بالتقريب نصف جسيمات النواة في معظم الذرات.

quantum :

الكم : وحدة لا تنقسم هي التي يمكن أن تُبعث بها الموجات أو تمتص.

quantum mechanics :

ميكانيكا الكم: النظرية التى نشأت عن مبدأ الكم لبلانك ومبدأ عدم اليقين لها يزنبرج.

quark

كوارك : جسيم أولى (مشحون) يحس بالقوة الكبرى. البروتونات والنيوترونات يتكون كل منهما من ثلاثة كواركات.

radar :

رادار : نظام يستخدم نبضات موجات الراديو للكشف عن موضع الأشياء بقياس الزمن الذى تستغرقه النبضة الواحدة حتى تصل إلى الشئ ثم تنعكس ثانية.

radioactivity :

نشاط إشعاعى: التحلل التلقائى لأحد أنواع النويات الذرية إلى نوع آخر.

red shift :

الإزاحة الحمراء : إحمرار الضوء من أحد النجوم التى تتحرك بعيدا عنا، ويرجع إلى تأثير دوبلر.

singularity :

مفردة: نقطة فى المكان – الزمان يصبح انحناء المكان – الزمان عندها لا متناهى.

singularity theorem :

نظرية المفردة : نظرية تبين أن المفردة لا بد أن توجد فى ظروف معينة – وبالذات، أن الكون بدأ ولا بد بمفردة.

space-time :

المكان – الزمان : المكان ذو الأبعاد الأربعة ونقطه هى الأحداث.

spatial dimension :

البعد المكانى : أى بعد من الأبعاد الثلاثة للمكان – الزمان التى هى شبه مكانية – بمعنى، أى

بعد سوى بعد الزمان.

special relativity :

النسبية الخاصة : نظرية إينشتين التى تتأسس على فكرة أن قوانين العلم ينبغى أن تكون متماثلة بالنسبة لكل القائمين بالملاحظة ممن يتحركون حركة حرة، بصرف النظر عن سرعتهم.

spectrum :

الطيف : الانشطار، مثلا، فى موجة كهرومغنطية إلى الترددات المكونة لها.

spin :

لف (دوران لولبى): خَاصَّة داخلية للجسيمات الأولية تُنسب إلى مفهوم اللف فى الحياة اليومية، وإن كانت لا تتطابق معه.

stationary state :

حالة مستقرة : حالة لا تتغير بالزمان : الكرة التى تلف بمعدل ثابت هى مستقرة لأنها تبدو متماثلة عند أى لحظة، حتى وإن كانت غير ساكنة.

strong force :

القوة القوية: أقوى قوة من القوى الأربع الأساسية، وأقصرها كلها فى المدى. وهى تمسك الكواركات معا من داخل البروتونات والنيوترونات، وتمسك البروتونات والنيوترونات معا لتكوّن الذرات.

uncertainty principle :

مبدأ عدم اليقين : لا يمكن قط أن يتأكد المرء بالضبط من كل من موقع الجسيم وسرعته معا؛ وكلما عرف واحدا منها بدقة أكبر، قلت دقة ما يستطيع المرء أن يعرفه عن الآخر.

virtual particle :

جسيم تقديرى: فى ميكانيكا الكم، جسيم لا يمكن أبدا الكشف عنه مباشرة، ولكن وجوده له بالفعل تأثيرات قابلة القياس.

wave/particle duality:

ازدواجية الموجة / الجسيم : مفهوم فى ميكانيكا الكم بأنه ليس ثمة تمييز بين الموجات والجسيمات، فالجسيمات قد تسلك أحيانا مثل الموجات، والموجات مثل الجسيمات.

wavelength :

طول الموجة : بالنسبة للموجة، هو المسافة بين قرارين متجاورين أو ذروتين متجاورتين.

weak force :

القوة الضعيفة : ثانية أضعف قوة من القوى الأربع الأساسية، ومداها قصير جدا. وهى تؤثر فى كل جسيمات المادة، ولكنها لا تؤثر فى الجسيمات حاملة الطاقة.

weight :

الوزن : القوة التى يمارسها مجال الجاذبية على أحد الأجسام. وهى تتناسب مع كتلته ولكنها ليست مماثلة لها.

white dwarf :

القزم الأبيض: نجم بارد مستقر، يقوم على التنافر بين الالكترونات حسب مبدأ الاستبعاد.